



การผลิตกระดาษฝักตบชาเพื่องานบรรจุภัณฑ์

กาญจนา ลือพงษ์
นนุช ศศิธร
เกษม มานะรุ่งวิทย์

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากเงินงบประมาณเงินผลประโยชน์ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๔

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



Water Hyacinth Paper production for Packaging

Kanchana Luepong

Nongnut Sasithorn

Kasem Manarungwit



This Report is Funded by Rajamangala University of Technology Phra Nakhon,
Faculty of Industry Education Year 2011

ชื่อเรื่อง การผลิตกระดาษฟักตบชาเพื่องานบรรจุภัณฑ์
ผู้วิจัย กาญจนา ลือพงษ์
 นงนุช ศศิธร
 เกษม มานะรุ่งวิทย์
พ.ศ. ๒๕๕๔

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เรื่องการพัฒนากระดาษฟักตบชาเพื่องานบรรจุภัณฑ์ ได้แนวความคิดจากการนำฟักตบชามาใช้ประโยชน์ แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปริมาณเยื่อฟักตบชามีน้อยจึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มปริมาณเยื่อด้วยวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรเช่นสับประรดและกล้วย การทดลองทำโดยการเตรียมเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 10 g/l อุณหภูมิ 100 °C เวลา 3 ชั่วโมง ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 5 g/l อุณหภูมิ 90 °C เวลา 30 นาที และเพิ่มคุณสมบัติด้านการกระจายเยื่อด้วยสารช่วยกระจายเยื่อ (Acramin) 5 g/l และสารเพิ่มความแข็งแรง (น้ำถ่านกัมมันต์) 5 %w/v

จากการศึกษาพบว่า กระดาษที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปในงานบรรจุภัณฑ์ได้มีองค์ประกอบดังนี้ ปริมาณเส้นใยฟักตบชา 70 % เส้นใยสับประรด 10 % เส้นใยกล้วย 20 % เพิ่มคุณสมบัติด้านการกระจายตัวด้วย Acramin 5 g/l เพิ่มความแข็งแรงด้วย น้ำถ่านกัมมันต์ 5 %w/v กระดาษที่ได้เทียบเท่าคุณสมบัติของกระดาษกราฟท์ KI คือ ความหนา 0.537 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดึงตันทะลุ 35.4 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อการฉีกขาด 356 มิลลินิวตัน น้ำหนัก 185 กรัมต่อตารางเมตร มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานเป็นกล่องสินค้าทั่วไป หรือกล่องสำเร็จรูป

คำสำคัญ : ฟักตบชา, วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร, สิ่งทอเพื่องานบรรจุภัณฑ์

Title Water Hyacinth Paper production for Packaging

Reseacher Kanchana Luepong
 Nongnut Sasithorn
 Kasem Manarungwit

Year 2011

Abstract

This research was an aim to develop the *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms paper process whilst the increasing of paper pulp by the agriculture wastes as pineapple and banana leaves. The experimental started preparing the paper pulp using NaOH 10 g/l at 100°C for 3 hours. Then, the paper pulp was bleaching with H₂O₂ 5 g/l at 90°C for 30 minutes.

The paper was used for packtech what the optimum ratio were 70% *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, 10% pineapple leaf, and 20% banana leaf. The paper properties were increased by distributing agent as Acramin 5 g/l and improving the paper strength with 5%w/v residual activated carbon water. The product had an equivalent quality as craft paper type KI. It has 0.537 mm in thickness, 35.4 kN/m² bursting strength, tear strength 356 mN, and 185 gram in weight. The paper was good at box set for the generally products.

Keywords: *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, Agriculture wastes, Packtech

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือ สนับสนุนข้อมูล และข้อเสนอแนะในการทำงานจากบุคคลหลายฝ่ายดังนี้

1. บุคลากรคณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
2. นักศึกษาคณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น ผู้ช่วยวิจัย
3. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผู้สนับสนุนเงินวิจัย

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมาทั้งหมดไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ลักษณะโครงการวิจัย	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	2
1.3 วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	3
1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง	4
1.7 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	4
1.8 ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 ผักตบชวา	11
2.3 สับปะรด	15
2.4 กัญชง	16
2.5 สารกระจายเชื้อ	19
2.6 ถ่านกัมมันต์	22
2.7 การผลิตกระดาษ	24
2.8 กระดาษกราฟท์	33
2.9 บรรจุภัณฑ์	37
2.10 คุณภาพกระดาษที่มีความสำคัญต่อคุณภาพกล่อง	38

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 การทดลอง	41
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	41
3.2 การทดลอง	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	46
4.1 ปริมาณเส้นใยที่เหลือจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ	46
4.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษจากเยื่อธรรมชาติ	48
4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษจากการผสมเยื่อชนิดต่างๆ	49
4.4 การทดสอบประเภทของสารกระจายเยื่อต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษ	50
4.5 การเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษด้วยถ่านกัมมันต์	52
4.6 น้ำหนักมาตรฐาน (Basic Weight)	53
4.7 บทสรุป	55
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	57
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก การทดสอบสมบัติต่างๆจากเยื่อจากผักตบชวา สับประค ก ล้วย	62
ภาคผนวก ข มาตรฐานการทดสอบ	77

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	46
4.2	47
4.3	48
4.4	49
4.5	51
4.6	52
4.7	55



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ผักตบชวา	13
2.2 สับปะรด	15
2.3 ต้นกล้วย	17
2.4 กระเจี๊ยบเขียว	20
2.5 วุ้นหางจรเข้	21
2.6 กระดาษกราฟท์ KS	33
2.7 กระดาษกราฟท์ KA	34
2.8 กระดาษกราฟท์ KI	35
2.9 กระดาษกราฟท์ KP	35
2.10 กระดาษกราฟท์ KT	36
2.11 กระดาษกราฟท์ CA	36
3.1 ขั้นตอนการผลิตกระดาษ	42
4.1 ลักษณะปรากฏของกระดาษที่ได้จากการศึกษา (ผักตบชวา 70 % สับปะรด 10% และกล้วย 20 %)	54
4.2 บรรจุภัณฑ์กระดาษที่ได้จากการศึกษา	54
4.3 กระดาษที่ได้จากการวิจัยแยกตามความหนา-บาง	55
4.4 ตัวอย่างเนื้อกระดาษที่ได้จากการวิจัย	56
4.5 การประยุกต์ใช้จากกระดาษเพื่อทำผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ	56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ลักษณะโครงการวิจัย

โครงการการผลิตกระดาษผักตบชวาเพื่องานบรรจุภัณฑ์ (Water Hyacinth Paper production for Packaging) เป็นโครงการวิจัยใหม่

I. ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2550-2554)

ยุทธศาสตร์ : การสร้างความเข้มแข็งของชุมชนและสังคมให้เป็นรากฐานที่มั่นคงของประเทศไทย

ความสำคัญกับเรื่องที่สุดคคือมากที่สุด ในยุทธศาสตร์นั้น ๆ : การเสริมสร้างศักยภาพของชุมชน ในการอยู่ร่วมกันกับทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม อย่างสันติและเกื้อกูล

II. ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ (พ.ศ. 2551-2554)

ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 4: การเสริมสร้างและพัฒนาทุนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กลยุทธ์การวิจัยที่ 1: บริหารจัดการและการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

แผนงานวิจัยที่ 1.1: การวิจัยเกี่ยวกับการบริหารจัดการและการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

III. ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับกลุ่มเรื่องที่ควรวิจัยเร่งด่วนตามนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ (พ.ศ. 2551 - 2554)

กลุ่มเรื่อง: การบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาคุณค่าความหลากหลายทางชีวภาพ

IV. ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับนโยบายรัฐบาล

นโยบายเร่งด่วนที่จะเริ่มดำเนินการในปีแรก : เรื่อง การรักษาและเพิ่มรายได้ของประชาชน (สร้างรายได้และศักยภาพทางเศรษฐกิจในระดับฐานราก)

นโยบายระยะการบริหารราชการ 3 ปี ของรัฐบาล: นโยบายปรับโครงสร้าง
เศรษฐกิจ (เกษตรกรรม)

❖ **สถานที่ทำการทดลอง** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ
อุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น 517 ถนนนครสวรรค์ แขวงสวนจิตรลดา เขตดุสิต จังหวัด
กรุงเทพฯ รหัสไปรษณีย์ 10300

❖ **ประเภทการวิจัย** การพัฒนาทดลอง (Experimental development)

❖ **สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย** สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช

❖ **คำสำคัญ (Keywords) ของโครงการวิจัย** ผักตบชวา, เยื่อเซลลูโลส, กระดาษ
เหนียว, บรรจุภัณฑ์, วัสดุทดแทน

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทำให้เกิดสินค้าใหม่ขึ้นมากมาย บรรจุภัณฑ์เป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมการขาย ดังนั้นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อใช้ปกป้องสินค้าไม่ให้เกิดความเสียหายจากการขนส่งและปนเปื้อนในระหว่างขนส่งจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภคจึงมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของไทย ปัจจุบันประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้มากที่สุดคือ กระดาษ เนื่องจากใช้ได้ทั้งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ติดกับตัวสินค้า หรือเรียกว่า บรรจุภัณฑ์ขายปลีก และบรรจุภัณฑ์ขนส่ง ที่มีลักษณะเป็นกล่องกระดาษแข็งสีน้ำตาล วัสดุที่นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ เยื่อเซลลูโลส และมีแนวโน้มการใช้มากขึ้น เยื่อเซลลูโลสเป็นเยื่อที่ได้จากไม้ใหญ่ หรือส่วนประกอบต่างๆ ของพืช เพื่อเป็นการอนุรักษ์และลดการใช้ต้นไม้ใหญ่ในการผลิตกระดาษ โครงการนี้จึงมีแนวคิดในการนำผักตบชวา ซึ่งเป็นพืชน้ำล้มลุกประเภทหนึ่ง สามารถแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็วจนกลายเป็นวัชพืชในแหล่งน้ำทั่วไป ผักตบชวามีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักในโครงสร้างมีความน่าสนใจในการนำวัชพืชชนิดนี้มาทำการแปรรูปเป็นกระดาษสำหรับผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ เช่น กระดาษเหนียว (Craft paper) กระดาษเหนียวชนิดที่ไม่ผ่านการฟอกขาวจะมีสีน้ำตาล มีความแข็งแรง ทนทานต่อแรงฉีกขาด แรงดึง และการหักพับได้ดี นำไปใช้ประโยชน์ในการห่อสินค้าจำพวกเสื้อผ้า อาหาร ยา และเครื่องเขียน ถุงกระดาษ และเป็นวัตถุดิบทำแผ่นกระดาษลูกฟูก

การนำวัสดุอื่นๆ มาใช้ในการผลิตกระดาษได้จะสามารถลดการตัดไม้ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตกระดาษ ดังนั้นการหาวัสดุทดแทนในการเตรียมผลิตภัณฑ์กระดาษจากเศษวัชพืชจึงเป็นการลดปัญหาเหล่านี้ได้ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัชพืช นอกจากนี้ยังเป็น

การช่วยลดการสูญเสียงบประมาณในการกำจัดวัชพืช และช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง และเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการกับปัญหาสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

ดังนั้นการเตรียมกระดาษจากผักตบชวาเพื่อใช้ในงานด้านบรรจุภัณฑ์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเตรียมบรรจุภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งสามารถย่อยสลายได้และสามารถใช้เป็นวัสดุทดแทนกระดาษจากเยื่อไม้ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เป็นแนวทางหนึ่งในการนำวัชพืชมาเพิ่มมูลค่า เป็นการลดภาวะโลกร้อนอีกทางหนึ่ง โดยลดการตัดไม้ทำลายป่า และผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเสริมรายได้ในครัวเรือน เป็นแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง เพื่อใช้ในชีวิตประจำวัน

1.3 วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย

เพื่อเตรียมกระดาษจากผักตบชวาสำหรับใช้งานทางด้านบรรจุภัณฑ์

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในงานวิจัยนี้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองหาวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อกระดาษและกระดาษจากผักตบชวา และการจัดทำต้นแบบจากกระดาษผักตบชวา โดยมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

❖ การทดลองหาวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อกระดาษ : ทำการศึกษาการเตรียมเยื่อกระดาษด้วยกระบวนการโซดาและกระบวนการซัลเฟต จากนั้นนำเยื่อที่เตรียมได้ขึ้นรูปเป็นกระดาษ และนำมาทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ (ความหนาของแผ่นเส้นใย, ความต้านทานแรงดันทะลุ, ความคงทนต่อการฉีกขาด, ความคงทนต่อแรงดึงขาด และความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ)

❖ การจัดทำบรรจุภัณฑ์ต้นแบบจากกระดาษผักตบชวา นำกระดาษที่เตรียมได้มาขึ้นต้นไปทำการตกแต่ง ขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ต้นแบบ และนำไปทดลองใช้จริง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.5.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เพิ่มมูลค่าให้ผักตบชวามาในการทำกระดาษสำหรับห่อสินค้าในงานบรรจุภัณฑ์
- เป็นทางเลือกในการเตรียมวัสดุทดแทนประเภทกระดาษ

1.5.2 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

- ❖ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น

❖ กลุ่มชุมชนที่มีการนำผักตบชวามาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง

1.6.1 แผนการดำเนินการวิจัย

- ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของงานวิจัย
- ดำเนินการจัดซื้อวัสดุสารเคมีและออกแบบการทดลอง
- ทดลองหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อกระดาศและกระดาศจาก

ผักตบชวา

- ทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาศจากผักตบชวาที่ได้
- จัดทำบรรจุภัณฑ์ต้นแบบและทดสอบความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

1.6.2 สถานที่ทำการทดลอง

คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

พระนคร

1.7 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

1.7.1 ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี (ตุลาคม 2553 – กันยายน 2554)

1.7.2 แผนดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

กิจกรรม/ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปีงบประมาณ 2554												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของงานวิจัย													
2. ดำเนินการจัดซื้อวัสดุ สารเคมี และออกแบบการทดลอง													
3. ทดลองหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อกระดาศ													
4. ทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาศจากผักตบชวาที่ได้													
5. จัดทำต้นแบบและทดสอบความเหมาะสมในการใช้งาน													
6. สรุปผลการวิจัยและจัดทำรูปเล่ม													

1.8 ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

ผลสำเร็จเบื้องต้น (P) : การนำผักตบชวามาใช้เป็นวัสดุทดแทนสำหรับการผลิตเชื้อ
กระดาษและกระดาษ

ผลสำเร็จกึ่งกลาง (I) : การนำกระดาษผักตบชวาที่ผลิตได้ไปแปรรูปเป็นบรรจุ
ภัณฑ์

ผลสำเร็จตามเป้าประสงค์ (G) : มีการนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม และ
กลุ่มเป้าหมาย



บทที่ 2

ข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง

เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร และ อรุษา สรวารี (เสาวรจน์, 2532) การเสริมแรงยางธรรมชาติด้วยเส้นใยผักตบชวา กระทำโดยการบดผสมยางธรรมชาติ (ทีทีอาร์ 20) ให้เข้ากับเส้นใยผักตบชวาซึ่งผ่านการบดละเอียดแล้ว พร้อมกับสารเคมีต่างๆ ที่จำเป็นในการทำสารประกอบยาง โดยทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณ (5 และ 10 phr) และขนาดของเส้นใยผักตบชวา (ละเอียด ปานกลาง และหยาบ) ต่อสมบัติเชิงกล พบว่าความแข็งแรงของชิ้นงานที่ใส่เส้นใย จะสูงกว่าชิ้นงานที่ไม่ได้ใส่เส้นใยผักตบชวา ซึ่งความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณและขนาดของเส้นใยเพิ่มขึ้น แต่ค่าความต้านทานต่อแรงดึงจะต่ำลงเมื่อปริมาณและขนาดของเส้นใยเพิ่มขึ้น สำหรับค่า โมดูลัส (500) จะสูงขึ้น เมื่อปริมาณและขนาดของเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความต้านทานต่อการสึกหรอของชิ้นงานนั้นจะต่ำกว่าชิ้นงานที่ไม่ได้ใส่เส้นใยผักตบชวา ยิ่งปริมาณและขนาดของเส้นใยเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานต่อการสึกหรอจะ น้อยลง การใช้สารเชื่อมประสานเพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับยางธรรมชาติจะช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น

โรงเรียนสุราษฎร์พิทยา อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี (พ.ศ.2533) ได้ศึกษาโครงการเพื่อต้องการคัดเลือกเชื้อในการทำกระดาษจากผลของตาลโตนดมะพร้าว และหมาก พบว่าวิธีทางกล-เคมี คือการนำวิธีเคมีและวิธีกลใช้ร่วมกันผลปรากฏว่าเยื่อตาลโตนดจะมีเส้นใยแยกออกจากกัน และมีความนุ่มของเส้นใยดีกว่าเยื่อมะพร้าวและหมากเมื่อนำเอาเยื่อตาลโตนดทั้ง 3 ระยะ (อ่อน, แก่, สุก) มาทดสอบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกำหนดเวลา 30 นาที เท่ากัน จากผลการทดลองพบว่า ตาลโตนดแก่จะได้เยื่อที่มีความนุ่มและแตกเป็นเส้นเล็กๆ เหมาะสมต่อการนำมาทำกระดาษ เมื่อนำเปลือกของตาลแก่ไปต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, แคลเซียมไฮดรอกไซด์, น้ำจืดแล้ว พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้เยื่อที่เหมาะสมต่อการทำกระดาษมากที่สุด หลังจากทดสอบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน (2 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 %) ในเวลา 30 นาที จากการทดลองพบว่าใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % ให้ผลการแยกเส้นใยได้ดีที่สุดในเวลาเท่ากันอีก 3 ครั้ง จากการศึกษาพบว่าการผลิตกระดาษจะต้องมีทั้งวิธีทางกลและวิธีทางเคมี ภายใต้อายุที่เหมาะสมและความเข้มข้นของสารเคมีพอเหมาะจึงจะได้กระดาษที่มีประสิทธิภาพ การทดสอบประสิทธิภาพของกระดาษโดยการดูดซับน้ำพบว่าซึมซับน้ำได้ 4 แผ่นจาก 30 แผ่น ทดสอบแรงดึงพบว่าทนทานต่อแรงดึงโดยคิดจากค่าความเค้นดึงได้ $2.7 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ทดสอบการเรียงตัวของเส้นใยจากกล้องจุลทรรศน์ ลักษณะเนื้อกระดาษมีช่องว่างน้อยระหว่างเส้นใย มีเส้นใยหลายขนาดส่วนมากจะมี

ขนาดเล็กเรียงสารกันไม่พบแป้ง กระจกามีคุณสมบัติเป็นกลางทดสอบความทึบแสงของกระจก โดยใช้หลอดไฟ 12 โวลต์ 25 วัตต์ ว่าแสงสามารถส่งผ่านได้ 32 แผ่น ตาลโตนด 1 ผล สามารถทำเยื่อกระจกได้ 1,344 ตารางเซนติเมตร โดยใช้เงินทุน 2.64 บาท

โรงเรียนบางระจันวิทยา อำเภอบางระจัน สิงห์บุรี (พ.ศ. 2541) ได้ทำการศึกษาเพื่อที่จะนำเอาขยะที่เป็นกระจกมารีไซเคิล โดยทำการทดลองใช้ส่วนต่าง ๆ ของแก้วมาเป็นเยื่อประสาน ชนิดของกระจกที่จะนำมารีไซเคิล ชนิดของแป้ง ปริมาณแป้งที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปริมาณระหว่างเยื่อกระจกกับเยื่อกระจกจากแก้ว ผลการศึกษาพบว่า เยื่อกระจกจากแก้วแห้งทำหน้าที่เป็นเยื่อประสานที่ดีที่สุด และส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตกระจกคือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 mol/dm^3 กระจกมารีไซเคิลจากกระจกผสมเยื่อแก้วปริมาณ 100 กรัม : 200 กรัม แป้งมัน 10 กรัม

สุนันท์ ลิ้มตระกูล และคณะ (สุนันท์, 2542) ทำการศึกษากำหนดวัสดุปอแก้ว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นเยื่อกระจกด้วยกระบวนการโซดาและโซดาออกซิเจน ผลผลิตเยื่อที่ได้ของกระบวนการโซดาและโซดาออกซิเจนมีค่าประมาณ 50.6 เปอร์เซ็นต์ และ 48.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบผลตอบแทนระหว่างกระบวนการโซดาและโซดาออกซิเจน พบว่า การผลิตเยื่อกระจกด้วยกระบวนการโซดาให้ผลตอบแทนสูงกว่ากระบวนการโซดาออกซิเจน

ปิยพล นาคเบญจพรและคณะ (ปิยพล, 2543) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการต้มเยื่อจากเปลือกปอสาด้วยกระบวนการฟอร์มซาเซล สารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อ คือ กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และน้ำในการทดสอบภาวะที่เหมาะสมในการต้มนั้นทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนสารเคมี และระยะเวลาโดยจะทำการต้มที่อุณหภูมิคงที่ 150 องศาเซลเซียส จนได้ภาวะที่ดีที่สุด โดยอัตราส่วนสารเคมีที่ใช้ได้แก่ความเข้มข้นกรดที่ 30 40 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ระยะเวลา 1 1.5 และ 2 ชั่วโมงหลังจากนั้นจะนำเอาเยื่อที่ผ่านการต้มแล้วไปทำการทดสอบทางเคมี ซึ่งค่าที่ดีที่สุดเป็นเยื่อที่ได้จากความเข้มข้นกรด 50 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตจตุจักร กรุงเทพฯ (พ.ศ. 2545) ได้ค้นคว้าเกี่ยวกับสารกระจายเยื่อที่จะช่วยให้เส้นใยกระจายอย่างสม่ำเสมอสารกระจายเยื่อนี้เป็นสิ่งที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นมากในการทำแผ่นกระดาษแบบญี่ปุ่น ถ้าขาดสารนี้จะไม่สามารถทำแผ่นได้เลย สารกระจายเยื่อได้มาจากพืชและสารเคมี สารกระจายเยื่อมีคุณสมบัติดังนี้ 1. ช่วยให้เส้นใยกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในอ่างช้อนเยื่อ 2. เพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษเพราะทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวอย่าง

เป็นระเบียบในขณะที่ซ้อนแผ่น 3. สามารถผลิตกระดาษที่มีความบางมาก ๆ ได้ 4. ทำให้ได้แผ่นกระดาษที่ดีไม่เกิดรอยย่นบนแผ่นกระดาษ เส้นใยจะมีการประสานยึดเกาะกันมากยิ่งขึ้น ปริมาณของสารกระจายเยื่อที่ใช้ในการผลิตกระดาษคือ 5 g/l สารเคมีที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันนี้มี 2 ชนิดคือ 1. สาร Acramin เป็นสารเคมีที่ใช้เป็นสารกระจายเยื่อที่มีขายอยู่ในปัจจุบัน 2. สาร PEO (Polyethylene oxide หรือ Anionic polyacrylamide) สารกระจายเยื่อได้มาจากพืช 1. สารกระจายเยื่อที่ได้จาก Tororo aoi (กระเจี๊ยบเขียว) ในฝักจะมีมิวซิเลจ หรือสารกระจายเยื่อจำนวนมาก และยังมีอยู่ในรากด้วย การนำสารกระจายเยื่อมาใช้ได้ทั้งฝัก และราก ถ้าเป็นฝักจะมีปัญหาตรงที่จะมีสีเขียวปนมาบ้าง อาจทำให้กระดาษมีสีเขียวอ่อน ๆ ได้ ในส่วนของรากจะไม่เป็นแต่สารจะ มากหรือน้อยก็ขึ้นกับขนาดของราก 2. สารกระจายเยื่อที่ได้จากว่านหางจระเข้ จะใช้ในส่วนที่เป็นเมือกของว่านหางจระเข้

ทรงพล เจริญรักษาและคณะ (ทรงพล, 2546) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกเส้นใยจากหญ้าแฝกซึ่งโครงการนี้ศึกษาต้องการศึกษา 3 วิธี คือ 1. การขูดสด 2. หมักในน้ำ ในเวลาที่แตกต่างกัน 3. ต้มในโซดาไฟที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน เพื่อต้องการหาว่าวิธีใดสามารถแยกเส้นใยหญ้าแฝกออกจากต้นมากที่สุด จากการศึกษาพบว่าวิธีที่สามารถแยกเส้นใยหญ้าแฝกได้ง่ายที่สุดคือ วิธีการที่ต้มด้วยโซดาไฟที่ความเข้มข้น 1.5 % ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสได้ปริมาณเส้นใยที่มากที่สุดเท่ากับ 1.35 กรัม วิธีการหมักในน้ำ 20 วันได้ประมาณเส้นใยเท่ากับ 0.48 กรัม และวิธีการแยกเส้นใยด้วยวิธีการขูดสดเป็นวิธีที่แยกเส้นใยได้น้อยที่สุดเท่ากับ 0.30 กรัม ลักษณะภาพตัดขวางของเส้นใยหญ้าแฝกจะมีลักษณะกลมๆ คล้ายเม็ดถั่วมีรูอยู่ตรงกลาง และภาพตามยาวเป็นทรงกระบอกกลมมีเส้นตรงกลางสีดำอยู่ภายในเส้นใยลักษณะเส้นใยลักษณะเส้นใยที่ได้มีเส้นใยที่ได้มีเส้นใยหลาย ๆ เส้นเกาะอยู่บนเส้นใย หญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ต้มด้วยโซดาไฟ 0.5% ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 ชั่วโมง มีความแข็งแรงมากที่สุดเท่ากับ 5.634 g/den เส้นใยหญ้าแฝกพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ที่หมักในน้ำ 20 วันนี้มีความยาวมากที่สุดเท่ากับ 21.4 เซนติเมตร ความละเอียดของเส้นใยหญ้าแฝกมีความละเอียดน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยปอ

นิสากร เจริญดี (นิสากร, 2546) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตแผ่นไม้อัดจากผักตบชวา เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นไม้อัดจากผักตบชวา และเพื่อศึกษาสมบัติของแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากผักตบชวารวมถึงสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล เป็นการเพิ่มมูลค่าของวัชพืชน้ำและลดปริมาณวัชพืชน้ำ ทำการทดลองโดยใช้สารเชื่อมติด คือ กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ 10 เปอร์เซ็นต์ และกาวฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ผักตบชวาสามารถนำมาอัดเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดได้ ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน มอก. 876-2532

จากการวิเคราะห์โดยใช้ค่ามาตรฐาน Z (Z-Score) พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากผักตบชวาผสม กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ความหนาแน่น 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และสารพาราฟินอิมัลชัน 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นไม้แผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากผักตบชวาที่มีคุณภาพดีที่สุด

ปริญญ์ อิ่มกระจ่าง (ปริญญ์, 2546) ได้ทำการศึกษาของสมบัติของเส้นใยจาก ผักตบชวา และสามารถแบ่งการแยกเส้นใยได้ 3 วิธีคือ 1. การหมักที่เวลาต่างกัน 2. การแช่ในน้ำ ร้อนที่เวลาต่างกัน 3. การต้มด้วยสารละลายโซดาไฟ ที่ความเข้มข้นต่างกันและเวลาต่างกัน จากการ ทดลองพบว่าวิธีที่สามารถแยกเส้นใยได้ดีที่สุด คือการต้มด้วยสารละลายโซดาไฟ เพราะสามารถ ที่จะกำจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นใยได้ดีกว่าการแยกเส้นใยชนิดอื่นๆ จึงทำให้มีสมบัติของเส้นใยดี ขึ้น เช่น การดูดซึมความชื้นและการติดสี แต่ก็มีคุณสมบัติของเส้นใยลดลงเมื่อแยกเส้นใยด้วยการ ต้มด้วยโซดาไฟ คือ ความแข็งแรง ความยาวของเส้นใย เส้นใยจากกากปาล์มน้ำมันจะมีความหยาบ มาก ภาพตัดขวางของเส้นใยจะมีลักษณะที่คล้ายกับเส้นใยฝ้าย ภาพตัดตามยาวของเส้นใยจะมีการ บิดตัวคล้ายกับริบบิ้น

วิชัญ อรรถพานุรักษ์ (วิชัญ, 2546) ได้ทำการศึกษาการผลิตเยื่อจากไม้ยูคา ลิปตัสโดยใช้กรดอะซิติกกับกรดซัลฟูริกที่ความดันบรรยากาศ จากการศึกษาโดยการวัดขนาดเส้น ใย องค์ประกอบทางเคมี และเยื่อเคมีของยูคาลิปตัส จำนวน 12 ภาวะ โดยการทดลองนำขึ้นไม้มาทำ การต้มก่อนที่จุดเดือดด้วยกรดอะซิติก 70, 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ รวม 3 ระดับมีอัตราส่วนของเหลว ต่อวัตถุดิบ 3, 5, 7 และ 10 เท่ารวม 4 ระดับเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการต้มครั้งที่จุดเดือดด้วย กรดอะซิติกและอัตราส่วนเช่นเดียวกัน โดยมีการเติมกรดซัลฟูริก 0, 0.2, 0.3, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ รวม 5 ระดับใช้เวลา 3, 4 และ 5 ชั่วโมง จะได้มวลยูคาลิปตัสที่มีการต้มครั้งแรกด้วยกรดอะซิติก 90 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนของเหลวต่อวัตถุดิบ 7 เท่า เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วต้มครั้งที่จุดเดือดด้วย กรดอะซิติกและอัตราส่วนเช่นเดียวกันโดยมีการเติมกรดซัลฟูริก 0.3 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลา 4 ชั่วโมง เป็น สภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยให้ส่วนที่เป็นเยื่อ 41.63 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ 1.91 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผลิตกระดาษจะให้ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ ความต้านต่อการหักพับ ดัชนีแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาด มีค่า 2.28 กิโลปาสคาล.ตารางเมตร ต่อกรัม, 9.11, 43.68 นิวตันเมตรต่อ กรัม และ 3.36 มิลลินิวตันตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นสมบัติที่ใช้ในการพิมพ์และเขียนได้

ธนธร ทองสัมฤทธิ์และคณะ (ธนธร, 2548) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตเยื่อและ กระดาษจากต้นรูปถ่ายให้เหมาะสมต่อการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทเยื่อกระดาษขึ้นรูป เยื่อกระดาษ ได้จากการต้มใบรูปถ่ายแบบระบบปิดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปรับปรุงสมบัติ กระดาษโดยผสมสารเติมเต็ม สารเพิ่มความแข็งแรง และสารด้านการซึมน้ำ จากนั้นตรวจสอบ สมบัติกระดาษและทดลองขึ้นรูปเยื่อ โดยเปรียบเทียบกับการใช้เยื่อคราฟท์ที่รีไซเคิลจากกระดาษ

ลูกฟูกร้อยละ 50 และ 100 พบว่าปริมาณโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 10 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งทำให้กระดาษมีความต้านทานแรงดึงขาดและแรงคันทะลุดีที่สุด ปริมาณที่เหมาะสมของสารเติมเต็ม สารเพิ่มความแข็งแรง และสารด้านการซึมน้ำคือร้อยละ 0.1, 0.06 และ 0.15 ของน้ำหนักเยื่อแห้งตามลำดับ ส่วนบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปที่ได้จากการผสมเยื่อรูปถ่ายกับเยื่อกระดาษกราฟที่รีไซเคิลที่อัตราส่วน 1:0, 1:1 และ 0:1 มีค่าความต้านทานแรงกดประมาณ 127, 294 และ 523 กิโลกรัมแรง ตามลำดับ

ศุขปา เนตรประดิษฐ์ และคณะ (ศุขปา, 2548) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนากระดาษใบสับประรดให้เหมาะสมต่อการพิมพ์บรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ โดยทำการผลิตเยื่อกระดาษด้วยการต้มวัตถุดิบแบบระบบเปิดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นาน 4 ชั่วโมง และฟอกขาวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นาน 3.5 ชั่วโมง จากนั้นทำการปรับปรุงสมบัติกระดาษใบสับประรดโดยผสมเยื่อต้นปอสาในอัตราส่วนร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 ของน้ำหนักแห้ง แล้วผสมสารเติมเต็ม สารเพิ่มความแข็งแรง และสารด้านการซึมน้ำร้อยละ 2, 1.2 และ 2 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อตรวจสอบสมบัติกระดาษ คุณภาพงานพิมพ์ และสมบัติการบรรจุหีบห่อ พบว่ากระดาษใบสับประรดมีสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และทัศนศาสตร์ดีขึ้นเมื่อผสมเยื่อปอสาในปริมาณมากขึ้น แต่ความเรียบและคุณภาพงานพิมพ์ด้อยลง อัตราส่วนของเยื่อใบสับประรดต่อเยื่อปอสาที่เหมาะสม คือ 70 : 30 ซึ่งทำให้กระดาษเรียบและมีคุณภาพงานพิมพ์ดี

วิวัฒน์ อรรถพานุรักษ์ และคณะ (วิวัฒน์, 2552) ได้ทำการศึกษาการผลิตเยื่อกราฟท์จากหญ้าแฝก โดยศึกษาทางด้านสัณฐานเส้นใย องค์ประกอบทางเคมี และภาวะเพื่อการผลิตเยื่อเคมีจากหญ้าแฝกโดยกรรมวิธีกราฟท์ ซึ่งมีภาวะ sulfidity 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับ active alkali 9 - 19 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนวัตถุดิบต่อของเหลว 1 : 4 ที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง ผลปรากฏว่า ภาวะการต้มเยื่อที่เหมาะสม คือ active alkali 12 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตเยื่อ 40.79 เปอร์เซ็นต์ และค่า kappa number 18.96 สมบัติของเยื่อที่ได้อยู่ในช่วงของเยื่อกราฟท์ทั่วไปที่ใช้ในการผลิตกระดาษห่อของ เยื่อกราฟท์ฟอกขาวจากหญ้าแฝกโดยวิธี P-P มีความขาวที่ 73.92 เปอร์เซ็นต์ ISO และมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับผลิตกระดาษพิมพ์และเขียน

วิทยา ปั้นสุวรรณ (วิทยา, 2552) ทำการศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพืชที่ไม่ใช่ไม้ จำนวน 10 ชนิด คือ เปลือกในปอสา เปลือกในปอกระเจา เปลือกในปอแก้ว เปลือกในปอควินา เปลือกในหม่อน ใบสับประรด ชานอ้อย ฟางข้าว กาบกล้วย กาบปาล์มน้ำมัน เพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นที่เป็นประโยชน์ในการเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษของประเทศไทย โดยวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ปริมาณไฮโดรเจนคลอไรด์ ลิกนิน เถ้า

สารแทรกที่ละลายได้ในเอทานอลและเบนซีนและแอลฟาเซลลูโลส ผลการวิเคราะห์พบว่าเปลือกในของปอทุกชนิด คือ ปอสา ปอแก้ว ปอกระเจา ปอควิวา เหมาะสมที่จะใช้ทำเยื่อกระดาษ กาบกล้วยไม่เหมาะสม ส่วนเปลือกในของหม่อน ใบสับประรด กาบปาล์มน้ำมันมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ทำเยื่อกระดาษได้ เพราะมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับชานอ้อยและซังข้าว ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษในปัจจุบัน

วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์ จังหวัดสงขลา (วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์, 2552) ได้ศึกษาสภาวะการแยกเส้นใยและคุณภาพกระดาษจากต้นธูปฤๅษี ต้นธูปฤๅษีเป็นพืชตระกูลกก เจริญเติบโตตามพื้นที่รกร้างว่างเปล่าและมีหนองน้ำขึ้นแฉะ การนำต้นธูปฤๅษีมาใช้เป็นวัสดุทดแทนในการผลิตกระดาษ จึงเป็นทางเลือกที่ดี ช่วยลดต้นทุนการผลิตกระดาษ และเป็นการนำวัชพืชรกร้างมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่ายิ่งขึ้น ปัจจุบันข้อมูลการแยกเส้นใยพืชจากต้นธูปฤๅษีเพื่อการนำไปใช้ในการผลิตกระดาษยังมีน้อย ดังนั้นผู้ทดลองจึงต้องการศึกษาสภาวะของการแยกเส้นใยจากต้นธูปฤๅษีและศึกษาคุณภาพกระดาษจากสภาวะต่างๆที่ทดลองโดยประยุกต์กระบวนการกึ่งเคมี และคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมี เพื่อเป็นข้อมูลกระบวนการผลิตกระดาษจากต้นธูปฤๅษีที่มีคุณภาพและการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่อไปในเชิงพาณิชย์อีกทั้งเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมด้วย

2.2 ผักตบชวา

ผักตบชวา (Water Hyacinth) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms อยู่ในวงศ์ Pontederiaceae และอันดับ Commelinales ผักตบชวาเป็นพืชที่เจริญอยู่บนผิวน้ำ จัดเป็นประเภทลอยน้ำ (Floating plant) โดยปกติรากจะไม่ยึดติดกับพื้นดิน จึงถูกกระแสลมหรือน้ำพัดพาไปได้ไกลๆ แต่ถ้าน้ำตื้นรากจะหยั่งยึดติดกับพื้นดินได้ ลักษณะทรงต้น ประกอบด้วยกลุ่มของใบเรียงกันเป็นกระจุก ในต้นหนึ่งๆ จะมีใบตั้งแต่สองใบขึ้นไป ที่โคนก้านใบจะมีกาบใบ (Sheath) ลักษณะเป็นเยื่อบางๆ สีขาวแกมเขียวอ่อนๆ แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล บริเวณของกาบใบ เป็นสีน้ำตาลแกมม่วง จะเชื่อมติดต่อกัน โดยมีไหล ซึ่งเป็นลำต้นที่ทอดไปตามผิวน้ำช่วยในการขยายตัวของผักตบชวาให้เพิ่มขึ้น ต้นหนึ่งๆ ของผักตบชวาจะมีไหลแตกออกไปได้หลายอัน เมื่อไหลแตกออกไปแล้วก็จะเจริญขึ้นเป็นต้นใหม่แต่ยังติดกับต้นเดิมอยู่และเกิดเป็นกอขึ้น พร้อมทั้งมีรากเกิดขึ้น รากของผักตบชวาเป็นแบบรากฝอย (Fibrous root) มีรากย่อยๆ เป็นกระจุกใบ เป็นแบบใบเดี่ยว (Simple leaf) ประกอบด้วย แผ่นใบ (Blade) และก้านใบ (Petiole) แผ่นใบมีลักษณะคล้ายรูปหัวใจ (Chordate) ขอบใบเรียบ ระบบเส้นใย (Venation) ซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงน้ำ

และอาหาร เป็นแบบเส้นใยขนาน ก้านใบมีลักษณะกลม เรียบ อวบน้ำ และพองออกเป็นฟองลอยน้ำ เรียกว่า Buoyancy leaf

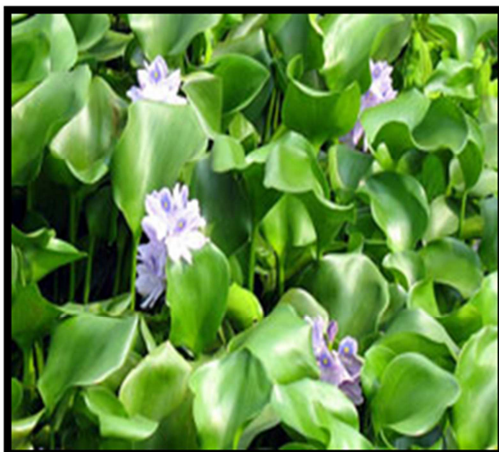
ผักตบชวาขึ้นได้ทุกสภาพน้ำ เจริญเติบโตได้ดีที่ pH 4 - 10 และอุณหภูมิของน้ำไม่สูงกว่า 34 องศาเซลเซียส และในลำต้นจะมีน้ำเฉลี่ยประมาณร้อยละ 95 (ในใบร้อยละ 89 และในก้านใบร้อยละ 96.7) ผักตบชวาช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยอาศัยสมบัติทำน้ำที่เป็นตัวกรอง ผักตบชวาที่ขึ้นอยู่อย่างหนาแน่น เปรียบได้กับการบรรจุวัสดุพรุน ซึ่งกรองน้ำที่ไหลผ่านกอผักตบชวาอย่างช้าๆ ทำให้ของแข็งแขวนลอยต่างๆ ที่ปนอยู่ในน้ำถูกสกัดกั้น นอกจากนี้ ระบบรากที่มีจำนวนมากสามารถช่วยกรองสารอินทรีย์ที่ละเอียดและจุลินทรีย์ที่อาศัยเกาะอยู่ที่รากจะช่วยดูดสารอินทรีย์ไว้ด้วยอีกทางหนึ่ง รากผักตบชวาจะดูดสารอาหารที่อยู่ในน้ำ ลำเลียงไปยังใบเพื่อสังเคราะห์แสง ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจึงถูกกำจัดไป พบว่าผักตบชวาสามารถดูดไนโตรเจน ที่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ได้สูงกว่าไนโตรเจนในรูปอื่นๆ ประมาณร้อยละ 95 แต่การใช้ผักตบชวาบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง จะส่งผลให้ผักตบชวาเจริญเร็วขึ้นและปกคลุมพื้นที่ผิวน้ำมากขึ้น เมื่อผักตบชวาตาย จะเน่าอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำเสียนั้นมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอีก และสามารถบำบัดน้ำเสียได้โดยตรง แต่ถ้าน้ำเสียนั้นมีสารมลพิษอยู่ปริมาณสูงหรือน้ำเสียนั้นมีปริมาณมาก การใช้ผักตบชวาบำบัดน้ำเสียจะให้ผลช้าและน้ำอาจเน่าเสียได้ นอกจากนี้ผักตบชวายังใช้เป็นอาหารสัตว์ ในปัจจุบันมีการนำผักตบชวาไปแปรรูปเป็นอาหารสัตว์โดยการบดเอาน้ำออก อบให้แห้ง แล้วอัดเป็นเม็ดแบบเดียวกับมันสำปะหลังเม็ด ผักตบชวาแห้งมีโปรตีน 11.15 เปอร์เซ็นต์ นำไปถักเป็นเครื่องถักสาน เช่น กระเป่า ที่รองแก้ว หมวก และใช้ผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมัก เป็นที่อยู่ของปลาและสัตว์น้ำสภาพได้แก่ผักตบชวาเหมาะสำหรับการดำรงชีพของปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ ซึ่งเป็นอาหารบริบูรณ์

ลำดับพฤกษศาสตร์ของผักตบชวา

ชื่อสามัญ : Water Hyacinth

ชื่อทางวิทยาศาสตร์ : *Eichhornia Crassipes (Mart.) Solms.*

ชื่อวงศ์ (Family) : Pontederiaceae



ภาพที่ 2.1 ผักตบชวา

ที่มา: www.vcharkarn.com, 2553

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักตบชวา

1. ราก โดยปกติรากจะไม่ยึดติดกับพื้นดิน จึงถูกกระแสลมหรือน้ำพัดพาไปได้ไกลๆ แต่ถ้าน้ำตื้นแล้ว รากจะหยั่งยึดติดกับพื้นดินได้ รากของผักตบชวาเป็นแบบรากฝอย (Fibrous root) คือ มีรากย่อยๆ เป็นกระจุก รากที่แทงออก จะมีลักษณะอวบ สีขาว เมื่อมีอายุมากขึ้นจึงจะมีรากขนอ่อน (Root hair) ที่มีสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อแก่ รากขนอ่อนนี้จะเป็นสีน้ำตาลแก่จนถึงสีดำ ความยาวของรากจะแตกต่างกันไป บางเส้นก็ยาวเกือบถึงหนึ่งเมตร (60-90 ซม.)

2. ลำต้น สูงประมาณ 30-90 เซนติเมตร มีลำต้นสั้น รากแตกออกจากลำต้นบริเวณข้อ รากมักมีสีม่วงดำ ลำต้นมี 2 ชนิด คือลำต้นใต้ดินมีลักษณะสั้น ส่วนอีกชนิดคือลำต้นบนดิน จะชูเมื่อมีดอก ลักษณะกลมเรียวยาวตั้งตรง ปลายสุดมีข้อให้กำเนิดใบและช่อดอก ยาวประมาณ 4-51 เซนติเมตร

3. ใบ ออกเป็นกลุ่มรอบลำต้น ใบกว้างใหญ่ มีรูปร่างค่อนข้างกลม ส่วนฐานใบเว้าเข้าหาก้านใบ มีหูใบ ส่วนของใบพองออก ภายในมีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ ใบมี 2 ชนิด คือใบปรกติมีรูปร่างแบบรูปไข่ (Ovate) รูปหัวใจ (Cordate) กลมคล้ายใบบัว (Orbicular) หรือรูปไต (Reniform) ส่วนอีกชนิดเกิดบนช่อดอกเป็นใบขนาดเล็กรูปหัวใจ โคนก้านใบแผ่ออกเป็นกระจุกหุ้มช่อดอก

4. ดอก ออกเป็นช่อแบบช่อเชิงลด (Spike) คือดอกย่อยเรียงอยู่บนแกนกลางอันเดียวไม่มีก้านดอกย่อย ช่อหนึ่งๆ มีดอกย่อยประมาณ 4-60 ดอก ก้านช่อดอกยาวประมาณ 15-30 เซนติเมตร ฐานกลีบดอกหลวมรวมกันเป็นรูปกรวย กลีบเลี้ยงและกลีบดอกหลวมรวมกันเป็นมีสีม่วง ดอกย่อยเป็นสมบุรณ์เพศแบบ Zygomorphic โคนกลีบดอกเป็นท่อ (Tube) ปลายกลีบแยกจากกันแต่เรียวยาวเชื่อมเหลื่อมกัน สีม่วง กลีบตรงกลางขนาด 2.3x3.5 เซนติเมตร ส่วนกลีบอื่นๆ ขนาด

1.2x3.5 เซนติเมตร เกสรตัวผู้ 6 อัน สั้น 3 อัน ยาวประมาณ 0.6 เซนติเมตร ส่วนเกสรตัวผู้ยาว 3 อัน มีความยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร ก้านเกสรตัวผู้มีขนตรงปลาย ขนพองกลม เกสรตัวเมีย มีรังไข่ อยู่เหนือโคนกลีบ (Superior ovary) มี 3 ห้อง ไข่อ่อนยึดติดแกนรังไข่ (Axial placentation) ก้าน เกสรตัวเมียมีขนสั้นๆ ปลายขนพองกลม การพัฒนาของช่อดอกเกิดจากลำต้นโดยตรง ลำต้นเจริญชู สูงขึ้นตรงปลายมีแผ่นใบรูปหัวใจเล็กๆ มีกาบบางใสหุ้มรอบและมีกาบหนาหุ้มรอบส่วนนี้กับโคน ก้านใกล้เคียง และบริเวณโคนก้านใบที่อยู่บนลำต้นนี้มีลักษณะป่องเล็กน้อย เป็นส่วนของกระเปาะ ที่เกิดของช่อดอก เมื่อช่อดอกเจริญ ลำต้น และก้านใบนี้ยืดยาวขึ้น ทำให้กาบใบที่หุ้มขาดออกจาก กัน เมื่อช่อดอกเจริญมากขึ้นจะค่อยๆ แหว่งออกทำให้กระเปาะปริและดอกย่อยทยอยบานจากโคนช่อดอกย่อยแต่ละดอกบานเพียงวันเดียว และบานช่วงเช้าเมื่อได้รับแสงอาทิตย์ พอดกเย็นดอกย่อยจะ หุบกลีบดอกขดเป็นเกลียว ช่อดอกจะโค้งงอลงสู่พื้นน้ำและพัฒนาเป็นผลต่อไป

ดอก ผักตบชวามีดอกสีม่วง ดอกออกเป็นช่อ ไม่มีก้านดอก ดอกแต่ละดอก ประกอบด้วยกลีบดอก (Perianth) 6 กลีบ ปลายกลีบแยกเป็นแฉก มีขนาดแตกต่างกัน ส่วน โคนกลีบ จะติดกันเป็นหลอด (Tube) มีสีเขียว มีเกสรตัวผู้ (Stamen) 6 อัน สั้น 3 ยาว 3 ติดอยู่ที่ตอนล่างของ กลีบดอก อับเกสรตัวผู้ (Anther) มีสีเหลือง ส่วนเกสรตัวเมีย (Pistil) มีส่วนตรงปลายเรียกว่า Stigma มีสีม่วงอ่อน อยู่บนก้าน ต่อมากจากรังไข่ (Ovary) ซึ่งอยู่เหนือกลีบดอก (Superior ovary) รังไข่นี้ เมื่อได้รับการผสมแล้ว จะเจริญขึ้นเป็นผล แต่ตามปกติแล้วในสภาพแวดล้อมในประเทศไทยมักจะ ไม่ค่อยพบว่า มีการผสมของดอกผักตบชวา จึงไม่ค่อยพบเมล็ด ผักตบชวา ในกรณีที่มีการผสม เมล็ดมีขนาดเล็กมาก สีน้ำตาลเข้ม หลังจากที่ดอกบานได้ 48 ชั่วโมง และไม่มีแมลงมาช่วยผสม เกสร จะเกิดการผสมตัวเอง หลังจากนั้น 3 สัปดาห์ เมล็ดเล็กๆ สีดำจะแก่ และก้านช่อดอกจะโค้งงอ ลงเบื้องล่าง เมื่อกระเปาะผลแตก เมล็ดก็จะหลุดลงสู่พื้นท้องน้ำ ในเนื้อที่ 1 ไร่ จะมีเมล็ดตกใน โคลนตมได้พื้นน้ำถึง 18 ล้านเมล็ด และสามารถรักษาความงอกอยู่ได้นานถึง 15 ปี เพราะฉะนั้น ภายใต้อุณหภูมิของดินแดนต่างๆ ที่เคยมีผักตบชวาขึ้นอยู่อาจจะมีเมล็ดผักตบชวาสะสมอยู่บนพื้น พันธ์านเมล็ด รอคอยที่จะงอกจากเมล็ดเป็นต้นอ่อนเมื่อถึงคราวจำเป็น

5. ผล แบบผลแห้งแตก (Capsule) แบ่งเป็น 3 พู เมื่อแก่แตกกลางพู (Loculicidal capsule) ลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ฐานกลมขนาด 0.3 x 1.0 เซนติเมตร ปลายผลมีลักษณะแหลม ขึ้นออกมาจากเมล็ด มีเมล็ดเป็นจำนวนมาก เมล็ดกลมอยู่ภายในผล มีขนาด 0.25 x 1.17 มิลลิเมตร มี สันตามแนวยาวของเมล็ด 10 - 12 สัน การติดเมล็ดของผักตบชวาตามธรรมชาติมีเปอร์เซ็นต์ไม่สูง มากนักและปริมาณการติดเมล็ดจะแตกต่างกันไปในแต่ละท้องที่ เช่น อินเดีย มีรายงานการติดเมล็ด 35 เปอร์เซ็นต์ ญี่ปุ่น 16 - 25 เปอร์เซ็นต์ ไทย 9 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้ามีการช่วยผสมเกสรการติดเมล็ดจะ สูงขึ้นคือประมาณ 20 - 91 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ผักตบชวานั้นๆ ขึ้นอยู่จำนวนเมล็ด

ผักตบชวาในธรรมชาตินั้นได้มีรายงานว่าในพื้นที่ 1 ไร่ มีเมล็ดของผักตบชวาจมอยู่ในโคลน 18 ล้าน เมล็ด และมีชีวิตอยู่ในดินได้นานถึง 15 ปี เมล็ดสามารถมีชีวิตอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 4 - 40 °C ปรกติเมล็ดงอกได้ในสภาพอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 22 °C และอยู่ในสภาพที่มีแสง

2.3 สับปะรด

เป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่งที่มีต้นกำเนิดมาจากแถบทวีปอเมริกาใต้ ลำต้นมีขนาดสูงประมาณ 80-100 เซนติเมตร การปลูกก็สามารถปลูกได้ง่ายโดยการใช้หน่อหรือที่เป็นส่วนยอดของผลที่เรียกว่า จุก มาฝังกลบดินไว้ และออกเป็นผล เปลือกของผลสับปะรดภายนอกมีลักษณะคล้ายตาล้อมรอบผล (วิกิพีเดีย, 2554)

ลำดับพฤกษศาสตร์

ชื่อสามัญ : Pineapple

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Ananas comosus* (L.) Merr.

ชื่อวงศ์ (Family) : Bromeliaceae



ภาพที่ 2.2 สับปะรด

ที่มา : <http://www.rakbankerd.com>, 2553

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสับปะรด

1. ราก ระบบรากเป็นแบบรากฝอย (Fibrous root system) รากที่เจริญจากลำต้นใต้ดิน เรียกว่า รากดิน (Soil root) สำหรับรากที่เกิดตามมุมใบบนส่วนของลำต้นที่อยู่เหนือผิวดิน เรียกว่า รากมุมใบ (Axillary root)

2. ลำต้น รูปร่างคล้ายทรงกระบอก มีลักษณะโค้งเล็กน้อย บริเวณส่วนกลางลำต้น มีขนาดใหญ่ ตามมุมใบของลำต้นที่อยู่เหนือผิวดินมีหน่ออากาศ (Air sucker) ส่วนหน่อที่เจริญมาจากตาบนลำต้นที่ระดับผิวดินหรือใต้ผิวดินเรียกว่า หน่อดิน (Ground sucker)

3. ใบ ใบเป็นใบเดี่ยว (Simple leaf) มีลักษณะเรียวยาวเป็นร่อง โคนและปลายใบแหลม ใบมีขนเล็กๆ (Trichome) สีขาวลักษณะคล้ายรุ่มปกคลุมอยู่ทั่วไป เกิดเวียนรอบลำต้น (Spiral) มีการจัดเรียงตัว (Phyllotaxy) เท่ากับ 5/13

4. ดอก ช่อดอกเป็นแบบ Raceme มีดอกย่อย (Floret) และ Bract เชื่อมติดกันอยู่บนแกนกลางของช่อดอก (Rachis) ดอกย่อย ประกอบด้วย Bract กลีบเลี้ยง (Sepal) กลีบดอก (Petal) โคนกลีบดอกมีสีขาวและมีสีม่วงอมฟ้าที่ส่วนปลาย เกสรตัวผู้ (Stamen) เกสรตัวเมีย (Pistil) ยอดเกสรตัวเมีย (Stigma) และรังไข่ (Ovary) มีต่อมน้ำหวาน (Nectary gland) 3 ต่อมน้ำหวานอยู่บนผนังรังไข่

5. ผล ผลเป็นแบบผลรวม (Multiple fruit) รูปร่างแบบกรวย (Cone) ทรงกระบอก (Cylinder) และทรงกลม (Sphere) มีหน่อเกิดขึ้นตามมุมใบเรียกว่าตะเกียง (Slip) และมีจุก (Crown) อยู่บนผลสับประค

2.4 กล้วย

กล้วย เป็นพืชล้มลุกขนาดใหญ่ จัดอยู่ในตระกูล Musaceae มีถิ่นกำเนิดในแถบตะวันออกเฉียงใต้ เจริญเติบโตได้ดีในดินแทบทุกชนิด โดยเฉพาะอากาศอบอุ่นและชุ่มชื้น เป็นพืชปลูกง่าย ไม่ยุ่งยากในการบำรุงรักษาและให้ผลผลิตตลอดปี (วิกิพีเดีย, 2554)

ลำดับพฤกษศาสตร์

ชื่อสามัญ : Banana

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Musa*

ชื่อวงศ์ (Family) : Musaceae



ภาพที่ 2.3 ต้นกล้วย

ที่มา : www.eco-agrotech.com, 2553

เนื่องจากกล้วยเป็นพืชอาหารที่มีประโยชน์ รสชาติดี และปลูกเลี้ยงง่าย ดังนั้นประเทศไทยจึงมีการปลูกกล้วยเพื่อบริโภคอย่างแพร่หลาย ตั้งแต่ระดับครัวเรือนจนถึงการปลูกเพื่อการจำหน่ายในระดับอุตสาหกรรม จัดเป็นพืชเศรษฐกิจพืชหนึ่งที่สามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรทั่วทุกภาคของประเทศ

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกล้วย

1. ราก ต้นกล้วยเริ่มต้นจะมีรากแก้วสีขาว ต่อมารากแก้วก็จะเจริญเติบโตเป็นรากฝอย ซึ่งระยะต้นอ่อนจะเป็นรากฝอยสีขาว เมื่อต้นแก่ตัวก็จะกลายเป็นรากฝอยสีน้ำตาลประสานกันเป็นร่างแหกระจายอยู่ใต้ดินเป็นแพกว้าง

2. ลำต้นแท้ ลำต้นแท้ของต้นกล้วยเป็นลำต้นใต้ดินคือเหง้ากล้วยที่มีขนาดใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 30 เซนติเมตร ลำต้นแท้ของกล้วยมีลักษณะเป็นหัวอยู่ใต้ดิน (Corm) ในกล้วยเกือบทุกชนิดการเจริญของหน่อ (Sucker) จะอยู่บนาน กับพื้นดินและแทงขึ้นสู่อากาศซึ่งจะมองเห็นได้อย่างชัดเจน เมื่อมีการแทงหน่อมากขึ้น เราเรียกว่าการแตกกอ ในกล้วยส่วนใหญ่มีการแตกกอถี่และแน่น แต่บางชนิดมีการแตกกอห่างหรือกระจาย เช่น กล้วยหก และกล้วยบัวสีส้ม ซึ่งแตกกอห่างไกลจากต้นแม่มาก นอกจากนี้ยังพบว่ากล้วยในสกุลกล้วยผาไม่มีการแตกกอ และกล้วยสกุลนี้ต้องขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ดที่หัวหรือที่ลำต้นแท้ของกล้วยจะเห็นตา (Bud) เจริญอยู่ทางด้านข้าง ตานี้จะอยู่ระหว่างกึ่ง กลางของฐานใบและมีฐานกาบใบหุ้มอยู่ ดังนั้นจึงมองไม่ค่อยเห็น ในช่วงแรกของการเจริญของตาจะเห็นตาเป็นรูปห้าเหลี่ยม และเมื่อมีการเจริญขึ้นรูปร่างของตาจะค่อยๆ ขยายกลายเป็นสี่เหลี่ยมตาเหล่านี้จะเกิดรอบๆต้น เมื่อมีการเจริญเติบโตจะมีการแทงหน่อตั้งขึ้นและมีการเจริญอย่างรวดเร็วเมื่อผ่าหัวหรือลำต้นใต้ดิน (Corm) ดู จะพบว่าหัวแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนใจกลาง เรียกว่า Central cylinder และส่วนล้อมรอบของ Cortex โดยมีท่อน้ำท่ออาหาร

(Vascular bundle) จำนวนมากเป็นตัวเชื่อมระหว่างส่วนทั้ง 2 นั้นเนื้อเยื่อของลำต้นประกอบด้วย เซลล์พาราไคมา ซึ่งมีแป้งบรรจุอยู่ภายใน (Starchy parenchyma) เมื่อผ่าตามแนวยาวจะเห็นจุดเจริญ เป็นรูสามเหลี่ยม และมีใบหุ้มซ้อนๆกันอยู่ ข้างล่างของจุดเจริญเป็นแคมเบียม (Cambium) มีความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร ที่จุดเจริญนี้มีการสร้างใบและลำต้นเทียม (Pseudostem) เนื้อดินสำหรับลำต้นใต้ดินเรียกว่า Corm และมีท่อน้ำท่ออาหารเป็นเซลล์เดี่ยว

3. หน่อกล้วย (Sucker) เมื่อตาเจริญเติบโตเป็นเหง้า เหง้าแทงยอดเป็นหน่อแล้ว หน่อเหล่านี้ก็คือต้นอ่อนของต้นกล้วย มี 4 ประเภท คือ หน่ออ่อน (Peepers) คือหน่ออายุน้อย หน่อมีขนาดเล็ก ใบเป็นเกร็ด อยู่เหนือดินสูง 10 เซนติเมตร หน่อใบแคบหรือหน่อใบดาบ (Sword suckers) เป็นต้นกล้วยอ่อนที่แข็งแรง เกิดจากเหง้าที่สมบูรณ์อยู่ลึกใต้พื้นดิน ใบคล้ายดาบๆเหมาะที่จะนำไปขยายพันธุ์ หน่อสูง 75 เซนติเมตร หน่อแก่ (Miden suckers) โดดจากหน่อใบดาบอายุต้นประมาณ 5 – 6 เดือน ตาดอกแก่แล้วพร้อมที่จะแทงหน่อออกช่อดอก และหน่อใบกว้าง (Water suckers) คือหน่อที่เกิดจากตาของเหง้าที่ไม่แข็งแรง และเกิดจากหน่อที่อยู่บนผิวดินลักษณะใบแผ่กว้างตั้งแต่หน่ออายุยังน้อย สูงประมาณ 75 เมตร ไม่เหมาะสมที่จะนำไปขยายพันธุ์

4. ลำต้นเทียม (Pseudostem) ลำต้นกล้วยเหนือดินที่เห็นอยู่ทั่วไป ลำต้นเทียมไม่ใช่ ลำต้นกล้วย เป็นเพียงกาบใบกล้วยที่เข้ามาประกบกันแน่น ซ้อนๆ กันหลายๆ กาบ กาบใบแรกอยู่รอบนอกจะเป็นกาบใบแคบ กาบใบชั้นที่สองเป็นกาบใบกว้าง และกาบใบชั้นที่สามเป็นกาบใบแถมริมกาบใบที่ขานานกันมาเรื่อยๆ จะค่อยๆ เรียวเข้าหากันที่ปลาย ทำให้กาบใบแข็งแรงสามารถรองรับน้ำหนัก้านใบที่ใหญ่โต และค่อนข้างหนักของใบกล้วยได้

5. ใบกล้วย (Leaf) ใบกล้วยหรือที่เราเรียกกันว่าใบตอง มีลักษณะยาวรี ขนาดกว้าง 50 – 70 เซนติเมตร ใบยาว 1.5 – 4 เมตร ก้านใบ (Peduncle) คือส่วนของก้านถึงตัวใบ ยาวประมาณ 50 เมตร ลักษณะเส้นใบจะเรียงขนานกันทำมุมเกือบตั้งฉากกับก้านใบตรงกลาง เมื่ออายุต้นกล้วยมากขึ้นใบ จะค่อยๆ เรียวเล็กลงจนกระทั่งแห้งตายไป ใบใหม่จะออกมาทดแทนกันทุกๆ 7 – 10 วัน ต้นกล้วย หนึ่งต้นจะมีใบหมุนเวียนชั่วอายุขัยของมันประมาณ 35 – 50 ใบ

6. ช่อดอก ช่อดอกหรือปลีดอก เมื่อต้นกล้วยที่ปลูกด้วยหน่อเติบโตอายุได้ 7 – 8 เดือน ต้นกล้วย ต้นนี้ก็จะกลายเป็นหน่อแก่ แล้วช่อดอกก็จะเจริญเติบโต ซึ่งช่อดอกเกิดจากตาที่อยู่กลางเหง้า ต้นใต้ดินเจริญเติบโตทะลุเหง้า ผ่านกลางลำต้นเทียมขึ้นมาโผล่ที่กลางยอดต้นกล้วย ใช้เวลาแทงช่อดอกรวดเร็วมากเพียง 1 เดือนเท่านั้นก็จะปรากฏปลีให้เห็นกลางยอดต้นกล้วย ดอกกล้วยจะเป็นดอกประเภทมีเครือปลีที่ยาว ภายในปลีดอกประกอบไปด้วยช่อดอกที่แข็งแรงรองรับกลุ่มดอก ซึ่งมีดอกเรียงกันเป็นระเบียบ สลับหว่างกันสองแถว ต่อไปจะเจริญเติบโตเป็นหวีกล้วย ช่อกกลุ่มดอกมีหลายช่อช่อเหล่านี้เรียงเวียนสลับไปตลอดเครือกล้วย ในเครือดอกนั้นประกอบด้วยกลุ่ม

ดอกตัวเมียอยู่ช่วงบนของเครือ ช่วงกลางเป็นกลุ่มดอกกระเทยที่มีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน และช่วงปลายของเครือคือกลุ่มดอกตัวผู้ทั้งหมด ซึ่งมักเป็นหมัน ก็คือหัวปลีที่อยู่ปลายเครือกล้วยนั่นเองเมื่อดอกกล้วยค้ำบนของเครือติดผล ก้านเครือระหว่างหัวจะยึดห่างออกจากกัน

7. ผลกล้วย กล้วยที่ปลูกอยู่ตามบ้าน ผลกล้วยสามารถเจริญเติบโตจากรังไข่ของตัวเมียได้โดยไม่ต้องผสมพันธุ์ เพราะเป็นกล้วยแบบแตกกอ ถ้าเป็นกล้วยที่ปลูกด้วยเมล็ด ดอกตัวเมียจำเป็นต้องมีการผสมพันธุ์กันก่อนเติบโตเป็นผลกล้วยจากช่อดอกจนเป็นผลที่พร้อมจะนำไปกินได้ใช้เวลาเติบโต 90 วัน เนื้อกล้วยคือเนื้อเยื่อชั้นนอกระหว่างเกสรตัวเมียกับรังไข่เท่านั้น จุดเล็กๆ สีน้ำตาลที่ใส่กล้วยก็คือร่องรอยเกสรตัวเมียที่เป็นหมันไม่อาจผสมพันธุ์ได้

2.5 สารกระจายเยื่อ

สารกระจายเยื่อเป็นสารที่ช่วยในการกระจายเส้นใยหลายๆ เส้นหลุดออกจากกันเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ มีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. ช่วยให้เส้นใยกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในอ่างช้อนเยื่อ
2. เพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษเพราะทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบใน ขณะช้อนแผ่น
3. สามารถผลิตกระดาษที่มีความบางมาก ๆ ได้
4. ทำให้ได้แผ่นกระดาษที่ดีไม่เกิดรอยขุ่นบนแผ่นกระดาษ เส้นใยจะมีการประสานยึดเกาะกันมากยิ่งขึ้น
5. จะทำให้ได้กระดาษที่มีลักษณะพิเศษคือ ผิวด้านบนจะเนียนไม่มีลักษณะเป็นเส้นและช่วยให้สามารถยกตะแกรง (Shito) ออกจากแผ่นกระดาษ หลังจากช้อนแผ่นได้และแยกกระดาษออกจากกันที่ละแผ่น หลังจากผ่านการบีบน้ำ (Pressing) ออกไปแล้ว
6. ช่วยให้ผิวกระดาษมีความเป็นมันสะท้อนแสงมากขึ้น
7. ช่วยให้เส้นใยลอยตัวอยู่ในน้ำได้นาน
8. สารกระจายเยื่อไม่ใช่กาวและไม่ทำให้เส้นใยเหนียวติดกันด้วย แต่มันช่วยให้เส้นใยมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบในขณะช้อนแผ่นกระดาษ

การใช้สารกระจายเยื่อควรจะใช้ในสภาพสด ๆ จะดีกว่าเมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้นาน เนื่องจากสารกระจายเยื่อหรือน้ำเมือกจะสลายตัวได้ง่ายเมื่อแห้ง อุณหภูมิและความร้อนและสภาพของน้ำที่มีสภาพเป็นกรด หรือด่างเกินไป สารกระจายเยื่อที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่

2.5.1. กระจีบบเขียว เป็นพืชล้มลุกมีอายุประมาณ 1 ปี เจริญเติบโตได้ดีในเขตอากาศกึ่งร้อน คือมีอุณหภูมิระหว่าง 18-35 องศาโดยประมาณ เป็นพืชที่สามารถนำมาเป็นสมุนไพร ได้ เพราะมีสรรพคุณทางยาที่ช่วยรักษาเกี่ยวกับโรคกระเพาะอาหาร (วิกิพีเดีย, 2554)

ลำดับพฤกษศาสตร์ของกระจีบบเขียว

ชื่อสามัญ : Okra, Gumbo

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench

ชื่อวงศ์ : Malvaceae



ภาพที่ 2.4 กระจีบบเขียว

ที่มา : www.thaiforestherb.blogspot.com, 2553

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ของกระจีบบเขียว

1. กระจีบบเขียว เป็นพืชผักยืนต้น อายุประมาณ 1 ปี มีความสูง 40 เซนติเมตร ถึง 2 เมตร ลำต้น มีขนสั้น ๆ มีหลายสี แตกต่างตามพันธุ์
2. ใบ มีลักษณะกว้างเป็นแฉกคล้ายใบชะมูก แต่ก้านใบจะสั้นกว่า ดอกมีสีเหลือง โคนดอกด้านในสีม่วง เมื่อบานคล้ายดอกฝ้าย มีเกสรตัวผู้ตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน ใบเดี่ยวขนาดใหญ่ มักเว้าเป็น 3 แฉก ก้านใบยาว ใบ เป็นใบเดี่ยวรูปมือ เป็นแฉกลึกกว้าง 7 - 26 เซนติเมตร ยาว 10 - 30 เซนติเมตร
3. ฝัก มีรูปเรียวยาว ปลายฝักแหลม มีทั้งชนิด ฝักกลมและฝักเหลี่ยม ซึ่งมีเหลี่ยม 5 - 10 เหลี่ยม ขึ้นกับพันธุ์ในแต่ละฝักมีเมล็ด 80 - 200 เมล็ด เมล็ดมีลักษณะกลมรี ขนาดเดียวกับถั่วเขียว เมล็ดอ่อนมีสีขาว เมื่อแก่มีสีเทา ฝักแก่สีฝักจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และจะแตกออกตามแนว

รอยสัน เหลี่ยมทำให้เห็นเมล็ดที่อยู่ข้างในภายในฝักจะมีมิวซิเลจ หรือสารกระจายเชื้อจำนวนมาก และยังมีอยู่ในรากด้วย การนำสารกระจายเชื้อมาใช้ได้ทั้งฝัก และราก ถ้าเป็นฝักจะมีปัญหาตรงที่จะมีสีเขียวปนมาบ้าง อาจทำให้กระดาษมีสีเขียวอ่อน ๆ ได้ ในส่วนของรากจะไม่เป็นแต่สารจะมากหรือน้อยก็ขึ้นกับขนาดของราก การสกัดเหมือนกับ Tororo aoi

4. ลำต้น ต้นและกิ่งก้านสีเขียว บางครั้งมีจุดประสีม่วง ผิวเปลือกลำต้น มีขนอ่อนปกคลุมเช่นเดียวกับใบและผลลำต้นมีสีเขียวกลม เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1-3 เซนติเมตร

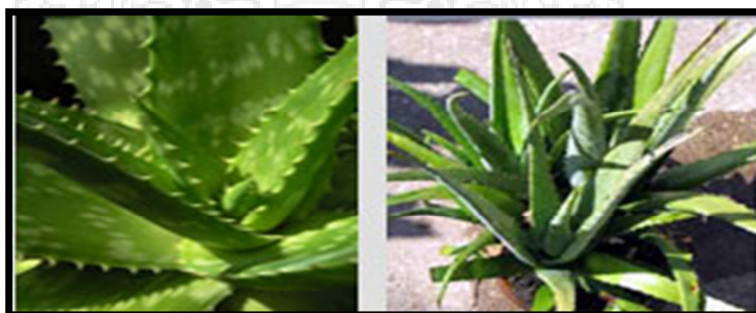
2.5.2 ว่านหางจระเข้ เป็นต้นพืชที่มีเนื้ออิมวอบ จัดอยู่ในตระกูลลิเลียม(Lilium) แหล่งกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียนและบริเวณตอนใต้ของทวีปแอฟริกา พันธุ์ของว่านหางจระเข้มีมากมายกว่า 300 ชนิด ซึ่งมีทั้งพันธุ์ที่มีขนาดใหญ่มากจนไปถึงพันธุ์ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 เซนติเมตร ลักษณะพิเศษของว่านหางจระเข้ก็คือ มีใบแหลมคล้ายกับเข็ม เนื้อหนา และเนื้อในมีน้ำเมือกเหนียว ว่านหางจระเข้ผลิดอกในช่วงฤดูหนาว ดอกจะมีสีต่างๆกัน เช่น เหลือง ขาว และแดง เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของมัน

ลำดับพฤกษศาสตร์ของว่านหางจระเข้

ชื่อสามัญ: Star Cactus, Aloe, Aloin, Jafferabad, Barbados

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Aloe Vera* (L.) Burm.f.

ชื่อวงศ์: Asphodelaceae



ภาพที่ 2.5 ว่านหางจระเข้

ที่มา : www.e-busitrade.com, 2553

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของว่านหางจระเข้

ไม้ล้มลุกอายุหลายปี สูง 0.5 - 1 เมตร ลำต้นเป็นข้อปล้องสั้น ใบ เป็นใบเดี่ยว ออกเรียงเวียนรอบต้น ใบหนาและยาว โคนใบใหญ่ ส่วนปลายใบแหลม ขอบใบเป็นหนามแหลมห่าง

กัน แผ่นใบหนาสีเขียว มีจุดขาวสีเขียวอ่อน อวบน้ำ ข้างในเป็นวุ้นใสสีเขียวอ่อน ดอก ออกเป็นช่อกระจายที่ปลายยอด ก้านช่อดอกยาว ดอกสีแสดอมเหลือง โคนเชื่อมติดกันเป็นหลอด ปลายแยกเป็น 6 แฉก เรียงเป็น 2 ชั้น รูปแตร ผล เป็นผลแห้งรูปกระสวย

2.5.3 สารยึดเกาะ (Binder) ชนิด Acramin 3187 เป็นสารประกอบจำพวกพอลิเมอร์ (เทอร์โมพลาสติก) ลักษณะเป็นอิมัลชันสีขาวขุ่น กระจุกบ่อ่อนๆ ค่า pH ประมาณ 8.0 – 10.0 ความหนืด ประมาณ 10 MPa สามารถละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติและการใช้งานดังนี้

- กำลังในการยึดเกาะสูง
- การพิมพ์ก่อให้เกิดผิวสัมผัสที่นุ่มมาก
- การพิมพ์ด้วย ACRAMIN ABC ให้ผลทางด้านความคงทนต่อการซักและการขัดถู
- फिल्मของสารยึดเกาะให้ผลทนต่อการซักแห้ง
- ไม่มีปัญหาการใช้งานกับการพิมพ์ทุกหน่วย
- มีคุณสมบัติในการทำงานได้ต่อเนื่อง

2.6 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (ถ่านกรองประสิทธิภาพสูง) คือถ่านที่ได้จากการนำไม้หรือวัสดุใกล้เคียงอื่นๆ เช่น กะลา มะพร้าว มาผ่านกระบวนการคาร์บอน โดยการเผาและอัดแรงดันที่อุณหภูมิสูงๆ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นถ่านซึ่งมีความพรุนสูงมาก มีการใช้ประโยชน์มากมายหลายด้าน เช่น ในการใช้ดูดซับสารต่างๆ การกำจัดคลอรีน เป็นต้น การใช้งานแต่ละประเภท จะต้องการคุณสมบัติของถ่าน ที่แตกต่างกันออกไปในรายละเอียดเชิงเทคนิค ไม่ใช่ว่าถ่านก็คือถ่านเหมือนกันไปหมด จึงจำเป็นอย่างมาก ที่เราจะต้องสามารถเลือกซื้อถ่านกัมมันต์มาใช้งานได้ และตรงตามวัตถุประสงค์

2.6.1 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ผลิตได้จากวัสดุหลายๆอย่างเป็นต้นว่าไม้ ถ่านหินลิกไนต์ หรือ กะลามะพร้าว เป็นต้น ขั้นตอนหลักๆก็คือการนำมาให้ความร้อนเรียกกระบวนการนี้ว่า "คาร์บอนไนเซชัน" จากนั้น จึงอัดด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด (200 – 1600 °C) ภายใต้การควบคุมปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิดร่างแห รูพรุนภายในและร่างหมู่ฟังกักชั้นบนพื้นผิวในแต่ละส่วน ดังนั้นกระบวนการผลิตจึงทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการกรองที่แตกต่าง ผลิตภัณฑ์อาจจะอยู่ในรูปเม็ดเล็กๆ (Granular activated carbon, GAC) อยู่ในรูปเป็นผง (Powder activated carbon, PAC) หรืออยู่ในรูปผงอัดเป็นแท่ง (Compressed PAC)

ถ่านกัมมันต์บางอย่างจะถูกล้างด้วยกรดฟอสฟอริก ซิงค์คลอไรด์ หรือโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการทางเคมีเหล่านี้ โดยมากไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระบบกรองของตู้เลี้ยงปลาทะเลเนื่องจากจะปลดปล่อยฟอสเฟต โลหะหนัก และทำให้ค่า pH แกว่งได้

2.6.2 กระบวนการดูด (ซึม/ซับ) ถ่านกัมมันต์กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้
หลักการดูดซับและดูดซึม การดูดซับจะเป็นการจับกันอย่างหลวมๆของสารอินทรีย์และคาร์บอนที่ผิวของถ่านกัมมันต์โดยยึดกันด้วยแรงแรงแวนเดอร์วาลส์ ในทางทฤษฎีสารที่ถูกดูดซับอาจจะถูกปล่อยกลับออกมาได้ แต่จากการสังเกต ทดลอง ได้แสดงให้เห็นว่าสภาวะการปล่อยกลับออกมานั้นเกิดขึ้นได้ยาก แบบที่เรียมักจะสร้างกลุ่มอยู่ที่ผิวของถ่านกัมมันต์และกินบางส่วนของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับไว้ ซึ่งจะเป็นการช่วยคืนรูปของถ่านกัมมันต์บางส่วนและป้องกันการหลุดกลับของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับไว้ ส่วนกระบวนการดูดซึมนั้นจะอาศัยหลักการแพร่ของก๊าซหรือสารประกอบเข้าไปในร่างแหรูพรุนภายในเม็ดถ่าน ซึ่งภายในจะเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือเกิดการจับยึดโดยความเป็นร่างแหยึดเหนี่ยวไว้ ยกตัวอย่างการเกิด ปฏิกิริยาเคมี เช่น ไอโซนถูกดูดซึมเข้าไปและถูกคาร์บอนรีดิวซ์เป็นออกซิเจน ซึ่งตัวไอโซนหรือออกซิเจนไม่ได้ไปสร้างหรือถูกจับไว้โดยถ่านกัมมันต์แต่อย่างใดส่วนกระบวนการดูดซึมอีกประเภทคือการถูกดูดซึมเข้าไปแล้วเกิด ปฏิกิริยาที่ย้อนกลับไม่ได้สร้างพันธะที่หนาแน่นกับคาร์บอนของถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปแล้ว สารที่มีโมเลกุลใหญ่จะถูกดูดซึม/ซับได้ช้ากว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก นอกจากนี้อัตราการดูดซึม/ซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ pH ความเค็ม แต่ปัจจัยเหล่านี้จะไม่กล่าวถึงเนื่องจากระบบตู้เลี้ยงปลาทะเลต้องการให้ปัจจัยเหล่านี้คงที่อยู่แล้ว

2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดก็เหมาะกับแต่ละงาน ไม่เหมือนกัน เบื้องต้นจำแนกออกเป็นใช้กับอากาศและใช้กับของเหลว พวกที่ใช้กับอากาศจะพบได้ในเครื่องปรับอากาศ ระบบฟอกอากาศ หน้ากากแก๊ส โดยทั่วไปพวกสาร Pollutant ในอากาศ มีโมเลกุลขนาดเล็ก ถ่าน กัมมันต์ที่เลือกใช้จึงควรมีรูพรุนขนาดเล็ก (จำพวก Microporous) ซึ่งจะเป็นตัวดูดซึม/ซับ ได้ดีที่สุด แต่ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ไปใช้ในตู้เลี้ยงปลาทะเล จะกลับมีประสิทธิภาพที่ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากรูขนาดเล็กประมาณ 15 อังสตรอม (1 อังสตรอม = 0.000000001 เมตร) นั้นเล็กเกินที่จะดูดซับ "มลสารตู้ปลา" (Aquarium pollutant) ซึ่งโดยมากเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ ส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (Macroporous) ประมาณ 30 อังสตรอม วัตถุประสงค์ที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ มีผลอย่างมากต่อขนาดรูพรุนที่เกิดขึ้น เช่น ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว รูพรุนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็ก

(Microporous) ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวจะใช้ในการกำจัดคลอรีนในน้ำประปา ถ่านหินลิกไนต์ใช้ในการทำถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (Macroporous) ส่วนไม้หากนำมาทำจะให้รูพรุนขนาดเกือบๆใหญ่ (ประมาณ 25 อังสตรอม)

2.7 การผลิตกระดาษ

กระดาษเป็นวัสดุที่ผลิตมาจากเซลลูโลสที่มีอยู่ในเนื้อไม้ตามธรรมชาติและเป็นวัสดุภาชนะเพียงชนิดเดียวที่สามารถปลูกทดแทนขึ้นมาใช้ใหม่ได้ ทำให้มีต้นทุนการผลิตต่ำ นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบา และสะดวกต่อการจัดพิมพ์ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.7.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษ มีหลายประเภทดังนี้

1. ไม้ เป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรมกระดาษ แบ่งไม้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของเส้นใย

- ไม้เนื้ออ่อน (Soft wood) จะเป็นไม้ที่มีเส้นใยยาว (ประมาณ 3 – 4 มิลลิเมตร)

ส่วนใหญ่เป็นไม้ประเภทสน (Cone – bearing tree)

- ไม้เนื้อแข็ง (Hard wood) จะเป็นไม้ที่มีเส้นใยสั้น (ประมาณ 1 – 1.5 มิลลิเมตร)

ส่วนใหญ่เป็นไม้ผลัดใบในฤดูใบไม้ร่วง (Deciduous tree)

2. พืชล้มลุก ที่สำคัญเช่น ปอ ป่าน ลิ้น ฝ้ายและไผ่ เป็นต้น

3. ชานอ้อย เป็นวัตถุดิบสำคัญของอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทย

4. ฟางข้าว เป็นเยื่อธรรมชาติคุณภาพต่ำ ปริมาณเยื่อสูง อัตราการย่อยต่ำ

5. กระดาษใช้แล้ว องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเยื่อกระดาษ และมีผลต่อ

คุณสมบัติของกระดาษ คือ

- เซลลูโลส (Cellulose) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเส้นใยและให้ความแข็งแรง

- เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ทำหน้าที่เป็นสารยึดเซลลูโลสไว้ด้วยกันและให้ความแข็งแรงกับเส้นใยด้วย

- ลิกนิน (Lignin) ทำหน้าที่เป็นสารยึดและให้ความแข็งแรงกับเนื้อเยื่อ (Tissue) ของไม้ในกระบวนการสกัดเยื่อกระดาษ จะต้องกำจัดลิกนินออกไป เนื่องจากเป็นสาเหตุทำให้กระดาษมีสีคล้ำและเยื่อมีความแข็งแรงต่ำ

2.7.2 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

1. การทำเยื่อกระดาษ (Pulping) การสกัดเยื่อจากไม้ หรือวัตถุดิบประเภทอื่นๆ เพื่อทำเยื่อกระดาษ สามารถทำได้ 3 วิธี คือ

- กระบวนการทางกล (Mechanical pulping) : การบดเนื้อไม้ด้วยลูกกลิ้ง (Grinder or Grinding stone) ขนาดใหญ่ จนเนื้อไม้ละเอียดแล้วนำมาแยกเยื่อออกจากเศษไม้ชิ้นย่อยๆ เยื่อที่ได้จะมีลักษณะไม่สมบูรณ์ สั้นและขาดเป็นท่อน ทำให้กระดาษที่ได้มาไม่แข็งแรง อีกทั้งยังมีสารลิกนินหลงเหลืออยู่ซึ่งเป็นสารที่ทำให้กระดาษเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เมื่อได้รับแสง กระดาษที่ได้จากกรรมวิธีนี้มีความทึบสูง คุณภาพขึ้นได้ดี มีราคาถูก แต่ไม่แข็งแรงและดูเก่าเร็ว มักจะนำไปใช้ทำสิ่งพิมพ์ประเภทหนังสือพิมพ์ เพื่อพัฒนาเยื่อกระดาษให้ดีขึ้น ได้มีการนำชิ้นไม้ไปอบด้วยความร้อนก่อนนำไปบด เพื่อให้เยื่อไม้กับลิกนินแยกออกจากกันได้ง่าย คุณภาพกระดาษที่ได้ก็จะดีขึ้นต้นทุนดำเนินการของกระบวนการนี้จะต่ำ

- กระบวนการทางเคมี (Chemical pulping) : การสกัดเยื่อโดยใช้สารเคมีและความร้อน เพื่อแยกเซลลูโลสและกำจัดลิกนินออก บางกรณีจะสกัดเฮมิเซลลูโลสออกไปด้วย เยื่อที่ได้จะมีความแข็งแรงสูง แต่ผลผลิตที่ต่ำกว่าเนื่องจากลิกนินส่วนใหญ่ถูกกำจัดออกไป วิธีนี้เหมาะกับการนำไปผลิตกระดาษคุณภาพชั้นดี แต่ต้นทุนดำเนินการสูง สารเคมีที่ใช้สกัดเยื่อจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นกับกระบวนการ เช่น กระบวนการโซดา (Soda process) จะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) กระบวนการซัลเฟต (Sulphate process) จะใช้โซเดียมซัลไฟต์ (Sodium sulphite) กระบวนการนี้บางครั้งเรียก กระบวนการคราฟท์ (Kraft process) เยื่อที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีสีคล้ำอมน้ำตาล มีความแข็งแรงสูง และกระดาษที่ผลิตจากเยื่อคราฟท์จะเรียก กระดาษคราฟท์ ใช้สำหรับทำถุงและบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ส่วนกระบวนการซัลไฟต์ (Sulphite process) จะใช้สารพวกไบซัลไฟต์ (Bisulphite) และ/หรือกรดซัลฟิวรัส (Sulphurous acid) เยื่อที่ได้ จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าเยื่อซัลเฟต นิยมนำไปฟอกให้ขาวเพื่อใช้เป็นกระดาษสำหรับเขียนและกระดาษเพื่อใช้ในงานพิมพ์

- กระบวนการกึ่งเคมี (Semi-chemical pulping) : กระบวนการ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการใช้สารเคมีเพื่อทำให้สารที่ยึดเส้นใยอ่อนตัวลงทำให้สามารถสกัดเยื่อออกมาง่ายขึ้นและใช้พลังงานน้อยลง ขั้นตอนที่ 2 เป็นการบดเนื้อไม้หรือวัตถุดิบอื่นๆ ที่ผ่านการแช่สารเคมีมาแล้วเพื่อสกัดเยื่อออกมา เยื่อที่ได้จากวิธีนี้มีความแข็งแรงมากกว่าเยื่อที่สกัดโดยกระบวนการทางกล แต่ก็แข็งแรงน้อยกว่าเยื่อที่สกัดด้วยกระบวนการทางเคมี ผลที่ได้ต่ำกว่ากระบวนการทางกล เนื่องจากลิกนินบางส่วนถูกกำจัดออกไป เยื่อกระดาษที่ได้มักนำไปใช้ในการผลิตกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์เป็นส่วนใหญ่

นอกจากนี้ยังมีการทำเยื่อจากกระดาษใช้แล้ว โดยนำมาปั่นเพื่อให้เยื่อกระดาษออกจากกันและมีการผ่านขบวนการขจัดสิ่งที่ดีกระดาษมาด้วยเช่น หมึก กาว ฯลฯ เยื่อที่ได้นี้จะไม่สมบูรณ์ สั้น เส้นใยขาด จึงไม่มีความแข็งแรง การผลิตกระดาษจึงมักนำเยื่อบริสุทธิ์มาผสม เนื่องจากมีสารปนเปื้อนตกค้างไม่สามารถกำจัดได้หมด เยื่อจากกระดาษเก่ามักนำไปใช้ทำกระดาษหนา กระดาษกล่อง และมักจะมีสีคล้ำ

2. การเตรียมน้ำเยื่อ เป็นการทำให้เยื่อกระดาษตัวและเติมส่วนผสมให้เหมาะสมกับการทำกระดาษประเภทที่ต้องการ การเตรียมน้ำเยื่ออาจมีการนำเยื่อไม่มากกว่า 1 ชนิดมาผสมเข้าด้วยกันเพื่อควบคุมต้นทุนให้เหมาะสมและเพิ่มสมบัติบางประการให้กับกระดาษที่จะผลิต การเตรียมน้ำเยื่อเริ่มจากการตีปั่นเยื่อ (Beating) ให้กระดาษอย่างสม่ำเสมอในน้ำเยื่อไม่จับเป็นก้อน (เยื่อที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เรียก Pulp slurry) เพื่อให้เยื่อแยกออกจากกันให้ดียิ่งขึ้น ช่วยเพิ่มการเกาะยึดระหว่างกันดีขึ้น ทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้น จากนั้นก็นำสารปรับแต่งต่างๆ เพื่อเพิ่มสมบัติของกระดาษตามที่ต้องการพร้อมกันนี้จะมีการปรับความเข้มข้นของน้ำเยื่อก่อนจะเข้าสู่ขั้นตอนการทำแผ่น

- การฟอกสี (Bleaching) เพื่อกำจัดคลอรีนที่อยู่ในเยื่อกระดาษทำให้กระดาษมีสีขาวขึ้น แต่การฟอกสีจะทำให้ความแข็งแรงของเยื่อลดลงด้วย สารเคมีที่ใช้ฟอกสี เช่น คลอรีน (Chlorine) ไฮโป-คลอไรต์ (Hypochlorite) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) เป็นต้น

- การเติมสารแต่งเติม (Additives) นิยมเติมขณะตีปั่นเยื่อ สารที่ใช้เติมสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

❖ สารเพิ่มปริมาณ (Filler) ส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ ใช้เพื่อเพิ่มปริมาณ ทำให้ได้กระดาษมากขึ้น ช่วยลดต้นทุนการผลิต เพื่อเพิ่มความขาว ความเรียบของกระดาษ และการดูดซับหมึกพิมพ์ สารที่ใช้ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ดินาเนียมไดออกไซด์ และคาโอลิน (Kaolin) เป็นต้น

❖ Sizing agent ทำหน้าที่เพิ่มความต้านทานการซึมผ่านของของเหลว เช่น น้ำ หมึกพิมพ์ เป็นต้น กระดาษเขียนพิมพ์ (Writing paper) ต้องเติมสารนี้เสมอ ส่วนกระดาษซับหมึกไม่ต้องเติม สารที่ใช้เป็น Sizing agent เช่น โรซิน (Rosin) ขี้ผึ้ง (Wax) เจลาติน (Gelatin) และเรซินสังเคราะห์ (Synthetic resin) เป็นต้น

❖ สารช่วยยึด ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษ เช่น ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength) และความต้านทานแรงฉีกขาด (Tear resistance) สารที่ใช้เป็นสารช่วยยึด ได้แก่ แป้ง ยางจากพืช (Vegetable gum) เรซินสังเคราะห์ เป็นต้น

❖ สารแต่งเติมเบ็ดเตล็ด เช่น สารเพิ่มความขาว สารป้องกันการเกิดโฟม (Anti-foaming agent) และสารให้ความแข็งแรงขณะเปียก (Wet-strengthening) เป็นต้น

3. การทำแผ่นและการตกแต่งผิว

- การโรยเยื่อ เป็นการขึ้นรูปแผ่นกระดาษ เครื่องมือที่ใช้ในการโรยเยื่อมี 2 ประเภท คือ

❖ Fourdrinier machine ใช้กับการผลิตกระดาษบางและมักใช้เยื่อเพียงชนิดเดียวกัน

❖ Cylinder machine ใช้ในการผลิตกระดาษหนา มีชั้นของเยื่อกระดาษหลายชั้นซ้อนทับกัน และสามารถใส่เยื่อกระดาษสำหรับแต่ละชั้นแตกต่างกันได้ เช่น ผิวหน้าทั้งสองใช้เยื่อบริสุทธิ์ (Virgin Pulp) ส่วนชั้นกลางจะใส่เยื่อจากกระดาษเก่า (Reclaimed pulp) เป็นต้น

- การอัดรีด (Pressing) เพื่อรีดเอาน้ำส่วนใหญ่ออกไปก่อนนำกระดาษไปรีดแห้ง

- การรีดแห้ง (Drying) เพื่อกำจัดความชื้นออกจากแผ่นกระดาษ โดยความชื้นสุดท้ายของกระดาษควรมีค่าประมาณร้อยละ 4 - 8 กระดาษที่จะนำไปทำแห้งนี้อาจมีการพ่น Sizing agent ก่อนด้วย

- การรีดเรียบ (Calendering) เพื่อลบรอยที่เกิดจากสายพานหรือตะแกรงระหว่างขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นกระดาษ และยังทำให้กระดาษเนื้อแน่นและเรียบมากขึ้น การรีดเรียบจะใช้ลูกกลิ้งขนาดใหญ่ ลูกกลิ้งโลหะผิวเรียบจะใช้สำหรับรีดกระดาษให้ผิวเรียบ ส่วนลูกกลิ้งผิวหุ้มสั๊กหลายจะใช้เพื่อการขัดผิวกระดาษให้เรียบและมันวาว

2.7.3 ขั้นตอนการทำกระดาษ การเตรียมวัตถุดิบก่อนต้มจะมีความแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบซึ่งหลักการทั่วไปจะเหมือนกันคือ วัตถุดิบที่จะนำมาใช้ต้องผ่านการคัดเลือกมาอย่างดีแล้วโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องสะอาด ไม่มีเชื้อราสิ่งสกปรกต่าง ๆ ติดมากับวัตถุดิบ นำวัตถุดิบมาตัดให้มีขนาดยาวไม่เกินเส้นผ่าศูนย์กลางของหม้อต้มเยื่อเพื่อสะดวกต่อการปฏิบัติงาน และคนพลิกเยื่อในขณะต้มได้จะทำให้การย่อยมีความสม่ำเสมอและทั่วถึง นำวัตถุดิบใส่ถังแช่ใส่น้ำให้ท่วม ถ้าวัตถุดิบเบาลอยน้ำควรหาวัสดุที่มีน้ำหนักทับวัตถุดิบเอาไว้ไม่ให้ลอย การแช่เยื่อในน้ำ 1 คืน เพื่อให้วัตถุดิบอ่อนตัว ชุ่มน้ำ จะทำให้น้ำยาเคมีซึมซับเข้าไปทั่วเส้นใยได้ดี และเร็วขึ้น ผลพลอยได้คือ ช่วยชะล้างเอาสิ่งสกปรก เช่น เศษดิน ฝุ่น และสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ ออกไปบ้าง เป็นการประหยัดน้ำยาเคมีในการต้มด้วย การแช่อาจจะแช่ในน้ำธรรมดาในถังแช่โดยให้น้ำขังหรือใช้วิธีให้

น้ำไหลเข้าและไหลออกไปอย่างช้า ๆ ก็ได้ วิธีนี้จะช่วยให้วัตถุบวมไม่มีกลิ่นเหม็นและสะอาดมากขึ้น และยังมีวิธีการแช่วัตถุบวมในน้ำค้างที่ยังไม่ได้ต้ม โดยใส่ค้างลงในน้ำแช่วัตถุบวมเลยแช่ไว้ 1 คืน แล้วจึงต้มหรือใช้น้ำที่ผ่านการต้มเยื่อมาแล้วแช่วัตถุบวมโดยใช้น้ำค้างค่อน้ำดีในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 หรือไม่ต้องผสมน้ำดีใช้น้ำค้างที่ผ่านการต้มเยื่อมาแล้วทั้งหมดแต่ไม่ควรแช่เกิน 3 ครั้ง เพราะสารสกัดต่าง ๆ ที่ออกมาเพิ่มขึ้นจะทำให้เยื่อสกปรก

2.7.4. การต้มเยื่อ วัตถุบวมที่แช่น้ำหรือสารละลายค้างแล้วจะต้มเป็นเยื่อได้ง่ายด้วยค้าง ซึ่งนิยมใช้โซดาไฟ โดยปกติแล้วเส้นใยจะถูกยึดด้วยโพลีแซคคาไรด์ ที่เรียกว่าสารเพคติน และลิกนิน ซึ่งเป็นสารที่มีแรงยึดเหนี่ยวสูง เส้นใยของผักตบชวา มีปริมาณลิกนินอยู่น้อย เมื่อต้มด้วยค้างจึงกลายเป็นเส้นใยได้ง่าย อย่างไรก็ตามการต้มเยื่อนี้ต้องใช้ความร้อน ระวัง เนื่องจากสารที่เป็นกาว (เฮมิเซลลูโลส) จะละลายในน้ำพร้อมกับการละลายสลายของสารยึดเหนี่ยวต่างๆ ระหว่างการต้มเฮมิเซลลูโลสนี้ถ้ายังเหลืออยู่ในเส้นใยจะทำให้เยื่อกระดาษจับตัวเป็นแผ่นเรียบและแน่นขึ้น การใช้ค้างแรงเกินไปจะทำให้การต้มเยื่อง่ายขึ้นก็จริงแต่จะทำให้เกิดการแตกตัวของเส้นใย (Depolymerization) และเฮมิ-เซลลูโลสด้วย ทดสอบได้โดยการจับดูหรือวัดแรงฉีกขาดของเส้นใย การเลือกสารเคมีในการต้มเยื่อของการผลิตกระดาษสาในญี่ปุ่นขึ้นอยู่กับการกระดาษสาคุณภาพดี สารเคมีที่จะใช้ได้แก่โซดาไฟ โซเดียมคาร์บอเนต และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ สารต้มเยื่อในประเทศไทยในระยะแรกจะใช้ขี้เถ้าผสมปูนขาวจะมีฤทธิ์เท่ากับโซเดียมคาร์บอเนต การลดปริมาณโซดาไฟลงจะช่วยให้ได้กระดาษที่แข็งแรง เรียบ และเนื้อแน่นขึ้น ผู้ใช้กระดาษสาในประเทศตะวันตกมักต้องการกระดาษที่ทนทาน ดังนั้นการเลือกสารเคมีที่ใช้ต้มเยื่อให้ตรงตามความต้องการของลูกค้าจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษ

การต้มผักตบชวาจะเหมือนกับการต้มวัตถุบวมชนิดอื่น ๆ โดยเตรียมน้ำเปล่าใส่ลงในถังต้มเยื่อทำด้วยสแตนเลส ใช้อัตราส่วนระหว่างผักตบชวาสดค่อน้ำเท่ากับ 1:10 แล้วใส่โซดาไฟลงไปจำนวนที่ใช้ ร้อยละ 10 ของน้ำหนักผักตบชวาสด คนให้ละลายจนหมด จึงนำเปลือกสาที่ผ่านการแช่น้ำหรือสารละลายค้างลงไปคนให้ผักตบชวาลูกเคล้ากับสารละลายค้างจนทั่ว ปิดฝาดังต้มเยื่อต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ปกติเพื่อไม่ให้สารละลายค้างล้นออกไปจากถังต้มและคนพลิกเยื่อที่ต้มเอาด้านล่างขึ้นบน บนลงล่างทุก ๆ 1 ชั่วโมง โดยจับเวลาหลังเดือดเป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วจึงหยุดต้มทั้งนี้ให้พิจารณาใช้มือดึงด้านข้างและตามยาวเยื่อหลุดออกจากกันได้ง่าย หลังจากนั้นให้แช่เยื่อที่ต้มแล้วเอาไว้ในสารละลายค้างที่ต้มต่ออีก 1 คืน เพื่อให้เกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์และสะดวกต่อการปฏิบัติงานเมื่อเย็นลง แล้วล้างเอาค้างออกจากเยื่อด้วยน้ำ 3 ครั้ง โดยดูจากเมื่อจับดูแล้วไม่มีความลื่นที่มือ น้ำค้างที่ผ่านการต้มแล้วสามารถนำไปแช่ผักตบชวาอีกได้

2.7.5 การฟอกขาว การฟอกขาวโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นสารเคมีที่ไม่มีคลอรีนเป็นส่วนประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นสารที่สลายตัวง่าย แม้เก็บไว้โดยมิได้ทำปฏิกิริยากับสารอื่น และจะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่ใช่เป็นการกำจัดคลอรีนที่เหลืออยู่ในเชื้อ เช่นเดียวกับการฟอกด้วยคลอรีนเปอร์ออกไซด์เป็นเพียงออกซิไดส์กลุ่มคาร์บอนิลในคาร์โบไฮเดรตให้เปลี่ยนเป็นกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิกเท่านั้น ซึ่งเป็นการทำให้สีของลิกนินที่เหลืออยู่ขาวขึ้นแต่จะกลับเป็นสีเหลืองได้ง่าย ปฏิกิริยาออกซิไดส์นี้จะทำให้การสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตเกิดมากขึ้น ดังนั้นการใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารฟอก นอกจากเป้าหมายของความขาวสว่างจะไม่สูงมากตามความต้องการแล้วยังต้องป้องกันการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เองและของเยื่อด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยังมีราคาแพง ดังนั้นการนำมาใช้ฟอกเยื่อควรจะใช้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการควบคุมสภาวะการฟอกเยื่อให้เหมาะสม สม ใช้สารช่วยยับยั้งการสลายตัวของน้ำยาฟอกและเยื่อ รวมทั้งสารปรับความเป็นกรดต่าง เพื่อให้ปฏิกิริยาที่ต้องการเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ สภาวะฟอกเยื่อที่เหมาะสมควรใช้แมกนีเซียมซัลเฟตช่วยยับยั้งการสลายตัวของเยื่อเพื่อรักษาผลผลิตเยื่อฟอกไว้และเติมโซเดียมซัลไฟด์ เพื่อลดการสลายตัวที่รวดเร็วของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และลดการสูญเสียของน้ำยาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์การใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะฟอกเยื่อให้ขาวขึ้นกว่าเดิมได้ไม่เกินร้อยละ 12 ซึ่งอาจจะทำให้เยื่อสาฟอกมีความขาวได้ร้อยละ 70 ถ้าฟอกซ้ำอีกครั้งอาจจะขาวได้ถึงร้อยละ 75 แม้จะฟอกซ้ำอีกต่อไปก็เชื่อว่าความขาวจะไม่เพิ่มขึ้นแต่ถ้าใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ จะให้ความขาวสว่างประมาณร้อยละ 81

2.7.6 วิธีการฟอกเยื่อสาด้วยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีดังนี้

1. ตวงน้ำใส่ถังฟอกเยื่อที่ตั้งอยู่บนเตาพร้อมที่จะฟอกในอัตราส่วนน้ำต่อเยื่อ 10:1
2. เตรียมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 5 ของปริมาณเยื่อฝักตบขวา
3. ปรับ pH ของสารละลายด้วยโซดาไฟให้อยู่ในช่วง 10.5 – 11.0
4. ใส่เยื่อที่จะฟอกลงไปคนให้เยื่อเปียกสารละลายปิดฝาถังฟอก
5. ต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและคนทุก ๆ 30 นาที ทั้งนี้ ต้อง

ควบคุมอุณหภูมิอย่าให้สูงมากจนเดือด ถ้าเดือดจะเกิดฟองล้นออกจากถังต้มได้

6. หลังฟอกขาวปล่อยให้เย็นลงก่อนจึงล้างด้วยน้ำสะอาดจนสภาพน้ำล้างเป็นกลางโดยปกติล้างประมาณ 3 ครั้ง สังเกตจากไม่ลื่นมือ

2.7.7 การคัดเลือกและทำความสะอาดเยื่อ ขั้นตอนนี้นับว่ามีความสำคัญมากและค่อนข้างจะต้องใช้เวลามากด้วยการคัดเลือกเยื่อที่ไม่ดีออกจากเยื่อดี เพื่อต้องการให้ได้กระดาษที่ดี มีคุณภาพ การคัดเลือกควรจะต้องเลือกเยื่อขึ้นมาทีละเส้นจนหมด สิ่งที่ต้องเลือกออกมีดังนี้

1. ส่วนที่แข็งคัมไม่เปื่อย เช่น เนื้อไม้
2. เยื่อที่ฟอกแล้วไม่ขาว อาจจะมีสีน้ำตาล หรือดำควรคัดทิ้งไป
3. ส่วนที่เป็นตา เปลือก
4. สิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ที่ติดมากับเยื่อควรคัดออกให้หมด
5. ล้างเยื่อด้วยน้ำสะอาดจนมีสภาพเป็นกลาง แล้วบีบหรือสลัดน้ำออกด้วยเครื่องสลัดน้ำให้ เหลือความชื้นน้อยที่สุดประมาณร้อยละ 30 เพื่อใช้ในคำนวณหาน้ำหนักแห้งในขั้นตอนต่อไปความชื้นนี้สามารถเก็บรักษาอยู่ได้นาน

2.7.8 การตีเยื่อ นำเยื่อฝักตบชวา 70 % สับปะรด 10 % กล้วย 20 % สาร Acramin 5 g/l , ถ่านกัมมันต์ 5% Water proof 2 g/l ที่ได้มาทำการปั่นให้เข้ากัน จนเข้ากันอย่างละเอียด หลังจากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นกระดาษในขั้นตอนต่อไป

2.7.9 การทำแผ่นกระดาษ ในการทำแผ่นกระดาษเป็นการเทเยื่อที่ได้จากการกระจายเยื่อดีแล้วลงไปบนตะแกรงในลอนที่ใช้ทำแผ่นกระดาษ ตะแกรงนี้จะลอยน้ำเมื่อเทเยื่อลงไป เยื่อก็จะลอยน้ำอยู่บนตะแกรงเราก็ทำการเกลี่ยเยื่อภายในตะแกรงให้มีความสม่ำเสมอทั้งแผ่น หรือที่ชาวบ้านเรียกกันว่า "ตะ" แต่ถ้านำเยื่อที่กระจายดีแล้วใส่ในอ่างผสมไปกับน้ำในปริมาณที่มากพอและเหมาะสม แล้วใช้ตะแกรงช้อนเยื่อขึ้นมา เรียกว่าวิธีการทำแผ่นกระดาษแบบ "ช้อนเยื่อ" ถ้าเยื่ออยู่บนตะแกรงมีความสม่ำเสมอก็แสดงว่าใช้ได้ และก็นำไปตากแดด เมื่อแห้งแล้วก็ค่อยๆ ลอกกระดาษออกจากตะแกรง

ในการตากแดดเส้นใยพืชบางชนิดจะมีการหดหรือย่นทำให้กระดาษที่ได้ออกมาไม่สวย เช่น เยื่อจากสับปะรด กล้วย ฝักตบชวา เป็นต้น วิธีแก้ง่ายๆ ก็คือนำไปตากแดดพอมืดๆ ก็ให้นำเข้ามาตากในร่ม วิธีนี้ก็พอช่วยได้ และถ้าทำกระดาษแบบที่เห็นเป็นเส้นใยแบบหยาบแบบนี้ก็จะช่วยลดการหดหรือย่นได้

การทำกระดาษแบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1. แบบช้อน มักใช้กับกระดาษชนิดบางสามารถทำได้เป็นจำนวนมาก วันละ 200 – 300 แผ่นต่อคนต่อวัน แต่กระดาษที่ได้จะไม่ค่อยมีความสม่ำเสมอในแผ่น และแต่ละแผ่นน้ำหนักกระดาษ จะไม่เท่ากัน ถ้าจะให้เท่ากันคนช้อนแผ่นจะต้องมีความชำนาญมาก วิธีการโดยนำน้ำใส่ใน

อ่างช้อนเชื้อใส่สารกระจายเชื้อที่เตรียมไว้ลงไปปริมาณมากน้อยตามความต้องการของแต่ละคน โดยทั่วไปจะใช้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ของสารละลายถ้าใส่น้อยการกระจายตัวของเชื้อก็จะไม่ดี ถ้าใส่มากเกินไปการไหลผ่านของน้ำออกจากตะแกรงก็ช้า ทำให้ต้องใช้เวลาและแรงยกมากขึ้น อาจจะทำให้เชื้อไหลกองรวมกันตรงกลางตะแกรง แผ่นกระดาษจะเสียได้ คนด้วยไม้ไฟให้สารกระจายเชื้อผสมกับน้ำช้อนเชื้อใส่เชื้อที่ตีแล้วลงไปน้ำช้อนเชื้อคนให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วอ่าง นำตะแกรงจ้วงตักเชื้อจากจุดที่ห่างที่สุด แล้วลากเข้าหาตัวช้า ๆ โดยรักษาระดับตะแกรงให้ขนานกับผิวหน้าของน้ำเชื้อไว้ตลอดเวลาความลึกของการจ้วงแต่ละครั้งขึ้นกับความหนาบางของกระดาษที่ต้องการ ยกตะแกรงให้พ้นน้ำโดยเร็วในแนวตั้ง รอจนน้ำหยดจากตะแกรงจนหมด จึงนำไปตากแดด

2. แบบตะหรือทำแผ่นแบบหล่อ เป็นวิธีการทำแผ่นที่เราสามารถกำหนดความหนาของกระดาษได้ แต่การทำแผ่นจะช้ากว่าแบบช้อน กระดาษจะมีความสม่ำเสมอมากกว่า แบบตะยังแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

- วิธีปั้นก้อนเปียก โดยชั่งเชื้อสาที่ผ่านการสกัดน้ำออกแล้ว เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 30 ปั้นเป็นก้อนไว้แต่ละก้อนให้ได้น้ำหนักแห้งตามความต้องการ ตักน้ำในอ่างช้อนเชื้อที่มีสารกระจายเชื้อผสมอยู่ในถังเพื่อกระจายเชื้อ ประมาณ 10 ลิตร ใส่ก้อนเชื้อลงไปหนึ่งก้อนแล้วใช้มือตีเชื้อให้แตกกระจาย วางตะแกรงช้อนเชื้อในอ่าง ตักน้ำเชื้อเทลงบนตะแกรงให้ทั่วแล้วใช้ฝ่ามือตะเชื้อให้กระจายทั่วตะแกรงแล้วยกตะแกรงขึ้นตรง ๆ รอจนน้ำหยุดไหลจึงนำไปตากแดด

- วิธีควบคุมปริมาณเชื้อต่อน้ำ (Consistency) วิธีนี้จะทำแผ่นได้เร็วกว่าวิธีปั้นก้อน กระดาษจะมีความสม่ำเสมอมากกว่า เนื่องจากการตีเชื้อให้แตกกระจายจะทำให้มากกว่าวิธีปั้นก้อน แต่ข้อสำคัญจะต้องควบคุมปริมาณน้ำต่อเชื้อให้ถูกต้อง และเวลาตวงน้ำเชื้อจะต้องกวนเชื้อให้กระจายอย่างสม่ำเสมอและดวงในปริมาตรที่ได้เชื้อแห้งตามต้องการ วิธีการใส่น้ำที่ผสมสารกระจายเชื้อแล้วลงในถังโดยรู้ปริมาณที่แน่นอนใส่เชื้อที่รู้น้ำหนักที่แน่นอนลงในน้ำคนด้วยไม้ไฟแรง ๆ ให้เชื้อแตกกระจายอย่างสม่ำเสมอตวงน้ำเชื้อให้ได้ตามที่คำนวณไว้ เทลงบนตะแกรงแล้วยกขึ้นตรง ๆ รอจนน้ำหยุดไหลจึงนำไปตากแดด

2.7.10 การทำแห้งกระดาษ กระดาษที่ไม่สามารถจะดึงเอาออกจากตะแกรงในขณะที่เปียกได้ ดังนั้นจำเป็นจะต้องทำให้กระดาษแห้งทั้งตะแกรง ซึ่งมีด้วยกัน 2 วิธีคือ

1. การตากแดด โดยอาศัยความร้อนจากแสงแดดซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัดโดยนำตะแกรงที่น้ำไหล ออกจากเชื้อหมด แล้วตั้งเอียง 45 องศา หันด้านที่มีกระดาษเข้าหาแสงแดด ถ้าเป็นกระดาษที่ไม่ได้ย้อมสีแต่ถ้าเป็นกระดาษย้อมสีควรจะผึ่งให้แห้งในร่ม เพื่อสีจะได้ไม่ซีดแต่ถ้าไม่มี

พื้นที่จำเป็นจะต้องตากแดดให้แห้งด้านหลังตะแกรงเข้าหาแสงแดดจะช่วยลดการซีดของสีลงได้ กระจายจะแห้งเร็วหรือช้าจะขึ้นกับสภาพของอากาศและความหนาของกระดาษด้วย โดยปกติจะแห้งในเวลา 2 – 3 ชั่วโมง

2. ใช้ตู้อบ สามารถที่จะอบกระดาษได้ตลอดเวลาโดยไม่มีปัญหาของสภาพอากาศ แต่การลงทุนค่อนข้างสูง แล่งให้ความร้อนจะเป็นแก๊สหรือไฟฟ้าก็ได้ กระจายที่จะนำเข้าไป จำเป็นต้องให้น้ำหยดจนหมดก่อนจึงนำเข้าอบโดยวางซ้อนกันตามความจุของตู้อบอุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 40 – 45 °C ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ตาข่ายในลอนหดตัวหลุดจากขอบตะแกรงได้ กระจายจะแห้งประมาณ 1 ชั่วโมง ตู้อบสามารถใช้ได้ทั้งกระดาษขาวและกระดาษสี ส่วนกระดาษที่ใส่ดอกไม้และใบไม้เมื่อตัวกระจายแห้งแล้วจำเป็นจะต้องหาที่แขวนกระดาษต่ออีก 1-2 วัน

2.7.11 การทำให้ผิวหน้ากระดาษเรียบ โดยทั่วไปกระดาษสาไทยผิวหน้าของกระดาษจะไม่เรียบมีลักษณะขุ่น ขรุขระ เนื่องจากไม่สามารถนำออกจากตะแกรงเข้าเครื่องกดไล่น้ำ (Press) ทำให้แห้งบนผิวเรียบของแผ่นสแตนเลส (Stream dry) หรือแผ่นไม้ (Drying boards) ได้เหมือนกระดาษญี่ปุ่นหรือยุโรป ยิ่งกระดาษที่หนามากจะมีผิวหน้าขรุขระมากกว่ากระดาษบาง การจะทำให้ผิวหน้ากระดาษเรียบ สามารถทำได้ดังนี้

1. ครูดผิวหน้ากระดาษด้วยภาชนะขอบและผิวเรียบ การครูดผิวหน้ากระดาษนั้น จะต้องรอให้น้ำในแผ่น กระจายระเหยออกไปประมาณร้อยละ 70 ก่อน ถ้าเข้าอบควรจะครูดผิวหน้าก่อนเข้าอบจะได้ไม่เสียเวลาเปิด เข้าออกในขณะที่ตากแดดกระจายจะมีความเหนียวขึ้น เวลาครูดผิวหน้าจะได้ไม่ขาด การครูดก็โดยใช้ฝ่ามือจับที่ก้นภาชนะเช่น ขันแล้วคว่ำขอบบนเข้าหาแผ่นกระดาษใช้ขอบครูดบนผิวกระดาษไปมาโดยค่อยเพิ่มน้ำหนักขึ้นทีละน้อย โดยดูจากผิวของกระดาษเป็นหลัก และไม่กดแรงเกินไป กระจายอาจจะขาดหรือมีตำหนิได้ การครูดผิวหน้า ไม่สามารถกระทำได้ในครั้งเดียวทั้งแผ่นเนื่องจากการระเหยของน้ำออกจากแผ่นไม่เท่ากัน ส่วนบน ตะแกรงจะแห้งเร็วกว่าด้านล่าง ดังนั้นจึงต้องคอยครูดผิวหน้าจนหมดทั้งแผ่น กระจายที่แห้งแล้ว นำมาพ่นน้ำแล้วครูดผิวหน้าภายหลังจะไม่เรียบเท่าการครูดในขณะที่ตากหรือเปียกครั้งแรก

2. ริดด้วยเครื่องริดกระดาษ (Calender) เครื่องริดกระดาษประกอบด้วยลูกกลิ้งสอง ลูก ซ้อนกันแนวตั้ง อาจ จะเป็นเหล็กเคลือบสแตนโครมหรือลูกกลิ้งยางก็ได้ แต่เคลือบสแตนโครมจะ เรียกว่า การริดก็โดยใส่แผ่นกระดาษที่แห้งแล้วเข้าไประหว่างลูกกลิ้ง ถ้าต้องการเรียบมาก ๆ ก็ เพิ่มน้ำหนักกดลงบนลูกกลิ้งตัวบนและริดหลาย ๆ ครั้ง ลูกกลิ้งตัวล่างจะหมุนด้วยแรงดึงของ สายพานที่ต่อมาจากมอเตอร์ทำให้ลูกกลิ้งตัวบนหมุนตามด้วย กระจายที่ผ่านการริดแล้วจะมีความ เรียบที่สม่ำเสมอ มีความเหนียวและแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย

2.7.12 การดึงกระดาษออกจากตะแกรง การดึงกระดาษออกจากตะแกรงหลังจากที่กระดาษแห้งแล้ว นับว่าเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำกระดาษและมีความสำคัญค่อนข้างมาก เนื่องจากคุณภาพของกระดาษจะต่ำลงเพราะกระดาษมีตำหนิ เช่น รอยฉีกขาดหรือหักพับจากการดึงกระดาษออกจากตะแกรงโดยไม่ระมัดระวัง การดึงกระดาษจะต้องนำตะแกรงมาตั้งเฉียงประมาณ 45 องศา ใช้นิ้วแกะขอบกระดาษด้านบนออกจากขอบตะแกรงให้ตลอดแนวบนใช้ทั้งสองมือจับขอบกระดาษด้านบนให้ห่างเท่าๆกัน ดึงกระดาษเข้าหาตัวลักษณะยกขึ้นเล็กน้อย จนกระดาษหลุดออกจากตะแกรงทั้งแผ่นวิธีนี้อาจจะต้องหาที่ยึดขอบตะแกรงด้านบนไว้ มิฉะนั้นตะแกรงจะถูกดึงตามเข้ามาพร้อมกระดาษด้วย ถ้าไม่มีและไม่สะดวกจำเป็นต้องใช้มือข้างหนึ่งจับขอบตะแกรงบนไว้แล้วมืออีกข้างหนึ่งจับตรงกึ่งกลางขอบกระดาษด้านบน ดึงกระดาษออกจากตะแกรงเหมือนที่กล่าว ต้องมีความระมัดระวังอย่าให้เกิดรอยหักพับของกระดาษในขณะดึง

2.8 กระดาษคราฟท์

กระดาษคราฟท์ที่เรานำมาทำแผ่นกระดาษลูกฟูก มีหลายประเภท หลากสีสันทัน และคุณภาพ การนำไปใช้งานก็แตกต่างกัน โดยหลักๆเกรดกระดาษที่ใช้ มีดังต่อไปนี้

2.8.1 KS กระดาษคราฟท์สีขาวสำหรับทำฝิวกล่อง มีความเรียบ สะอาด เหมาะสำหรับกล่องที่เน้นความสวยงาม และ ช่วยให้การพิมพ์ที่มีสีสันทันชัดเจน ดูโดดเด่น เพิ่มคุณค่าให้สินค้าที่บรรจุภายใน นอกจากนี้ กระดาษ KS ยังมีความแข็งแรงสูง สามารถปกป้องสินค้าได้ดี นิยมใช้สำหรับ กล่องเครื่องใช้ไฟฟ้า สินค้าเพื่อการส่งออก และกล่องอุปโภคบริโภค ที่ต้องการปกป้องถึงความมีระดับของสินค้า เป็นต้น น้ำหนักมาตรฐาน : 170 กรัม/ตารางเมตร



ภาพที่ 2.6 กระดาษคราฟท์ KS

ที่มา : <http://www.thaipaperbox.com>, 2553

2.8.2 KA กระดาษกราฟที่สีเหลืองทองสำหรับทำฝิวกล่อง มีความแข็งแรงทนทานเป็นพิเศษ สามารถรองรับน้ำหนักได้ดีเยี่ยม และเป็นสีที่นิยมใช้กันมากในประเทศ เหมาะสำหรับสินค้าอะไหล่ยนต์ อาหารกระป๋อง กล่องเฟอร์นิเจอร์ ที่ต้องการความมั่นใจในเรื่องความแข็งแรงทุกรูปแบบ ทั้งการเรียงซ้อน การฉีกขาดและ การป้องกันการกระแทก น้ำหนักมาตรฐาน : 125, 150, 185, 230 กรัม/ตารางเมตร



ภาพที่ 2.7 กระดาษกราฟที่ KA

ที่มา : [http:// www.thaipaperbox.com](http://www.thaipaperbox.com), 2553

2.8.3 KI กระดาษกราฟที่สีน้ำตาลอ่อนสำหรับทำฝิวกล่อง สีอ่อนสบายตา เหมาะกับงานพิมพ์ภาพหรือตัวหนังสือ ให้มีสีสวยงามด้านการพิมพ์เป็นรองเพียงกระดาษ KS เท่านั้น นิยมใช้กับสินค้าที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากเท่า KA เหมาะกับกล่องสินค้าทั่วไป เช่น กล่องอาหารสำเร็จรูป กล่องเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการพิมพ์เป็นภาพสี เป็นต้น น้ำหนักมาตรฐาน: 125, 150, 185 กรัม/ตารางเมตร



ภาพที่ 2.8 กระดาษกราฟท์ KI

ที่มา : [http:// www.thaipaperbox.com](http://www.thaipaperbox.com), 2553

2.8.4 KP กระดาษกราฟท์สีน้ำตาลสำหรับทำฟิวกล่อง มีโทนสีที่ใกล้เคียงกับกระดาษจากต่างประเทศ เป็นที่ยอมรับกันในสากลเหมาะกับการใช้ผลิตกล่องสำหรับสินค้าส่งออกทุกชนิด น้ำหนักมาตรฐาน : 175, 275 กรัม/ตารางเมตร



ภาพที่ 2.9 กระดาษกราฟท์ KP

ที่มา : [http:// www.thaipaperbox.com](http://www.thaipaperbox.com), 2553

2.8.5 KT กระดาษกราฟท์สีน้ำตาลสำหรับทำฟิวกล่อง ผลิตจากเยื่อ Recycled 100% เพื่อส่งเสริมด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมแต่ยังคงความสวยงามและความแข็งแรง มี

คุณสมบัติเด่นในเรื่องการวางเรียงซ้อนทับกันเหมาะกับสินค้าส่งออกที่ระบุให้ใช้กล่องที่ทำจากเยื่อ Recycled ทั้งหมดน้ำหนักมาตรฐาน : 125, 150 กรัม/ตารางเมตร



ภาพที่ 2.10 กระดาษคราฟท์ KT

ที่มา : [http:// www.thaipaperbox.com](http://www.thaipaperbox.com), 2553

2.8.6 CA กระดาษคราฟท์สำหรับทำลอนลูกฟูก มีคุณสมบัติความแข็งแรงในการป้องกันแรงกระแทก สำหรับทำลอนลูกฟูกขนาดต่างๆได้ทุกลอนให้ได้คุณภาพสูง ความแข็งแรงสัมพันธ์กับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ นอกจากนี้ กระดาษ CA ยังนิยมนำมาใช้ทำเป็นกระดาษทำผิวกล่องด้านหลังเพื่อลดต้นทุนอีกด้วย น้ำหนักมาตรฐาน: 105, 125 กรัม/ตารางเมตร



ภาพที่ 2.11 กระดาษคราฟท์ CA

ที่มา : [http:// www.thaipaperbox.com](http://www.thaipaperbox.com), 2553

2.9 บรรจุภัณฑ์

การบรรจุหีบห่อ (Packaging) มีความหมายว่าแนวความคิดรวมของระบบในการเตรียมสินค้าเพื่อการขนส่ง จัดจำหน่าย เก็บรักษาและการตลาด โดยให้สอดคล้องกับสมบัติของสินค้า รวมทั้งการใช้ต้นทุนที่เหมาะสม ในยุคปัจจุบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้มีบทบาทต่อชีวิตประจำวัน ของคนเรามากขึ้น การบรรจุหีบห่อจึงได้ทวีความสำคัญยิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการบรรจุหีบห่อเป็นปัจจัยที่สำคัญในการนำสินค้าจากแหล่งผลิตสู่มือผู้บริโภค

2.9.1 ประโยชน์ของบรรจุภัณฑ์

1. การป้องกัน (Protection) เช่น กันน้ำ กันความชื้น กันแสง กันแก๊ส เมื่ออุณหภูมิสูงหรือต่ำ ด้านทานมิให้ผลิตภัณฑ์แปรสภาพไม่แต่ไม่ฉีกขาดง่าย ปกป้องให้สินค้าอยู่ในสภาพใหม่ สดอยู่ในสถานะแวดล้อมของตลาดได้ในวงจรรยาว โดยไม่แปรสภาพขนานแท้และดั้งเดิม
2. การจัดจำหน่ายและการกระจาย (Distribution) เหมาะสมต่อพฤติกรรมการซื้อขายเอื้ออำนวยการแยกขาย ส่งต่อ การตั้งโชว์ การกระจาย การส่งเสริมจูงใจในตัว ทนต่อการขนย้ายขนส่ง และการคลังสินค้า ด้วยต้นทุนสมเหตุสมผล ไม่เกิดรอยขีดข่วน / ชำรุด ตั้งแต่จุดผลิตและบรรจุจนถึงมือผู้ซื้อ / ผู้ใช้ / ผู้บริโภค ทนทานต่อการเก็บไว้นานได้
3. การส่งเสริมการขาย (Promotion) เพื่อยึดพื้นที่แสดงจุดเด่น โชว์ตัวเองได้อย่างสะดุดตา สามารถระบุแจ้งเงื่อนไข แจ้งข้อมูลเกี่ยวกับการเสนอผลประโยชน์เพิ่มเติมเพื่อจูงใจผู้บริโภค เมื่อต้องการจัดรายการเพื่อเสริมพลังการแข่งขัน ก็สามารถเปลี่ยนแปลงและจัดทำได้สะดวก ควบคุมได้และประหยัด
4. การบรรจุภัณฑ์กลมกลืนกับสินค้า และกรรมวิธีการบรรจุ (Packaging) เหมาะสมทั้งในแง่การออกแบบ และเพื่อให้มีโครงสร้างเข้ากับขบวนการบรรจุ และเอื้ออำนวยความสะดวกในการหิ้ว – ถือกลับบ้าน ตลอดจนการใช้ได้กับเครื่องมือการบรรจุที่มีอยู่แล้ว หรือจัดหาได้ ด้วยอัตราความเร็วในการผลิตที่ต้องการ ต้นทุนการบรรจุภัณฑ์ต่ำหรือสมเหตุสมผล ส่งเสริมจรรยาบรรณและรับผิดชอบต่อสังคม ไม่ก่อให้เกิดมลพิษและอยู่ในทำนองคลองธรรม ถูกต้องตามกฎหมายและพระราชบัญญัติต่าง ๆ
5. เพิ่มยอดขาย เนื่องจากในตลาดมีสินค้าและคู่แข่งเพิ่มขึ้นตลอดเวลา หากบรรจุภัณฑ์ของสินค้าใดได้รับการออกแบบเป็นอย่างดี จะสามารถดึงดูด ดึงดูดใจผู้บริโภคและก่อให้เกิดการซื้อในที่สุด รวมทั้งการลดต้นทุนการผลิต

วัตถุประสงค์หลักของบรรจุภัณฑ์ (Objectives of package)

- ❖ เพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์ (To protect products)
- ❖ เพื่อจำหน่ายผลิตภัณฑ์ (To distribute products)
- ❖ เพื่อโฆษณาประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ (To promote products)

2.9.2 ความหมายของบรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์หรือการบรรจุหีบห่อ หมายถึง ศาสตร์และศิลป์ที่ใช้ในการบรรจุสินค้าโดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อการคุ้มครองปกป้องสินค้าจากผู้ผลิตจนถึงมือลูกค้าอย่างปลอดภัยด้วยต้นทุนการผลิตที่เหมาะสม จากความหมายพอสรุปได้ว่าบรรจุภัณฑ์นั้นหมายถึง เรื่องของวิทยาศาสตร์และเรื่องของ ศิลปะที่ใช้เพื่อการบรรจุสินค้าโดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและทำให้เกิดความเสียหายกับ สิ่งแวดล้อม และบรรจุภัณฑ์นั้นจะต้องปกป้องตัวสินค้าให้อยู่ในสภาพที่ดีจากแหล่งผลิตจนถึงมือ ลูกค้าโดยไม่ให้ได้รับความเสียหาย ทั้งนี้บรรจุภัณฑ์นั้น ๆ จะต้องมีต้นทุนของการผลิตที่ไม่สูง จนเกินไป จะเห็นได้ว่าการบรรจุภัณฑ์นั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อผลผลิตทั้งหลายซึ่งสามารถ สรุปเป็นรายละเอียดเป็นข้อ ๆ ได้ ดังนี้

1. รักษาคุณภาพ และปกป้องตัวสินค้า เริ่มตั้งแต่การขนส่งการเก็บให้ผลผลิตหรือ ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมิให้เสียหายจากการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง แมลง คน ความชื้น ความ ร้อน แสงแดด และการปลอมปน เป็นต้น
2. ให้ความสะดวกในเรื่องการขนส่ง การจัดเก็บ มีความรวดเร็วในการขนส่ง เพราะสามารถรวมหน่วยของผลิตภัณฑ์เหล่านั้นเป็นหน่วยเดียวได้ เช่น ผลไม้หลายผลนำลงบรรจุ ในลังเดียว หรือเครื่องดื่มที่เป็นของเหลวสามารถบรรจุลงในกระป๋องหรือขวดได้ เป็นต้น
3. ส่งเสริมทางการตลาด บรรจุภัณฑ์เพื่อการจัดจำหน่ายเป็นสิ่งแรกที่ผู้บริโภค เห็น ดังนั้นบรรจุภัณฑ์จะต้อง ทำหน้าที่บอกกล่าวสิ่งต่างๆของตัวผลิตภัณฑ์โดยการบอกข้อมูลที่ จำเป็นทั้งหมดของตัวสินค้า

2.10 คุณภาพกระดาษที่มีความสำคัญต่อคุณภาพกล่อง

2.10.1 น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight) น้ำหนักมาตรฐาน หมายถึง น้ำหนักกระดาษต่อพื้นที่ ซึ่งมีหน่วยเป็น กรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร หรือ ปอนด์ต่อพื้นที่ 1,000 ตารางฟุต น้ำหนักมาตรฐานมีความสัมพันธ์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษ โดยเฉพาะความแข็งแรงของกระดาษ จะพบว่ากระดาษทุกประเภทจะต้องมีข้อกำหนดเกี่ยวข้องกับมาตรฐานถึงแม้ว่า

คุณสมบัตินี้ไม่ได้เป็นคุณสมบัติที่จะนำไปใช้ ความสัมพันธ์งานโดยตรง แต่ก็มีกับคุณสมบัติอื่นๆ เป็นอย่างมาก กระดาษชนิดเดียวกันความแข็งแรงของกระดาษจะเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำหนักมาตรฐาน เพิ่มขึ้นจึงใช้ในการแบ่งชั้นคุณภาพของกระดาษหรือเกรดกระดาษการเลือกใช้กระดาษนั้นมักเปรียบเทียบกับคุณสมบัติที่ต้องการโดยใช้ระดับมาตรฐานเดียวกันเป็นเกณฑ์ตัดสินเสมอ ช่วงการวัด 100-300 g/m² (กรัมต่อตารางเมตร) มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ ได้แก่ ISO 536 (กระดาษเหนียว), ASTM D 646, TAPPI T410, ISO3039 (กระดาษลูกฟูก)

2.10.2 การทดสอบความหนา (Thickness) นิยมใช้ตรวจคุณภาพของกระดาษวัสดุอ่อนตัวทั่วไปและภาชนะบรรจุเกือบทุกประเภท เป็นวิธีการทดสอบที่รวดเร็วและทำได้ง่าย นิยมใช้เครื่องวัดที่มีความละเอียดและแม่นยำสูง เช่น Dial type micrometer หน่วยความหนาที่ใช้ทั่วไป เช่น มิลลิเมตร ไมครอน หรือนิ้ว เป็นต้น

2.10.3 การดูดซึมน้ำ (Adsorption) การดูดซึมน้ำของกระดาษทำลูกฟูก หมายถึง เวลาที่กระดาษสามารถดูดซึมน้ำปริมาณ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ได้หมดมีหน่วยเป็น วินาทีต่อน้ำ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่านี้จะบอกถึงความสามารถในการดูดซึมน้ำของกระดาษทำลูกฟูก วิธีการทดสอบใช้มาตรฐาน มอก. 321 ซึ่งกำหนดให้ กระดาษลูกฟูกมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 30 - 200 วินาทีต่อน้ำ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.10.4 ความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength) ความต้านทานแรงดันทะลุ หมายถึง ความสามารถของกระดาษหรือแผ่นกระดาษลูกฟูกที่จะต้านแรงดันที่กระทำบนแผ่นทดสอบด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนทำให้แผ่นทดสอบนั้นขาดภายใต้สภาวะที่กำหนด มีหน่วยเป็น (kN/m²) กิโลนิวตันต่อตารางเมตร โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานแรงดันทะลุจะขึ้นอยู่กับชนิด สัตว์ส่วน การเตรียมเส้นใยและปริมาณเส้นใยรวมทั้งสารแต่งเติมในแผ่นกระดาษ นอกจากนี้ ความต้านทานแรงดันทะลุเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับสินค้าที่ทำให้เกิด แรงดันภายในออกมาภายนอกกล่องเป็นบริเวณพื้นที่เล็กๆ เช่น สินค้าที่มีลักษณะแรงดันภายในออกมาภายนอกกล่องเป็นบริเวณพื้นที่เล็กๆ เช่น สินค้าที่มีลักษณะเป็นก้อน แท่งหรือกระป๋อง เป็นต้น มีความจำเป็นต้องใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกที่มีค่าความต้านทานแรงดันทะลุสูงๆ เนื่องจากมีการกระทบระหว่างสินค้ากับกล่องบรรจุซึ่งจะบ่งบอกถึงความสามารถในการรองรับน้ำหนักบรรจุของสินค้าที่ ถ่วงลงบนผนังด้านล่าง

ของกล่องเมื่อมีการลำเลียงขนส่ง เครื่องมือที่ใช้คือ Mullen tester มาตรฐานที่ใช้ทดสอบได้แก่ มอก. 550-2528 ข้อ 9.5 และ ASTM D 786-01

2.10.5 ความต้านทานแรงกดรูปวงแหวน (Compression strength) ความต้านทานแรงกดของกล่องกระดาษลูกฟูก หมายถึง ความสามารถของกระดาษลูกฟูกในการต้านแรงกดที่กระทำบน กล่องจนกระดาษลูกฟูกนั้นเสียรูปหรือรับแรงกดต่อไปอีกไม่ได้ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N) หรือกิโลกรัมแรง (kgf) วิธีการทดสอบนี้ ใช้สำหรับทดสอบกล่องกระดาษลูกฟูกด้วยอัตราความเร็วอย่างสม่ำเสมอกระดาษ ลูกฟูกเปล่าและกล่องกระดาษลูกฟูกที่บรรจุสินค้า ค่าความต้านทานแรงกดของกล่องกระดาษลูกฟูกนำมาใช้คำนวณหาจำนวนชั้นในการเรียง ซ้อนจริงของกล่องที่บรรจุสินค้าถึงแม้ว่าการทดสอบนี้จะมีความสัมพันธ์โดยตรง กับความแข็งแรงของกล่องกระดาษลูกฟูกเมื่อเรียงซ้อนก็ตาม แต่ค่าที่ได้ก็ไม่ได้บ่งบอกถึงน้ำหนักที่สามารถใช้ในการเรียงซ้อนตัวจริงๆ เพราะในทางปฏิบัติจำเป็นต้องมีตัวคูณเพื่อความปลอดภัย (Safety factor) มาเกี่ยวข้อง ซึ่งได้มีการเผื่อค่าความต้านทานแรงกดของกล่องที่อาจลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ที่จะมีผลต่อค่าความ ต้านแรงกดของกล่องกระดาษลูกฟูกได้แก่ ปริมาณความชื้นในอากาศระยะเวลาในการเก็บ รูปแบบในการเรียงซ้อนกล่อง จำนวนครั้งในการเคลื่อนย้าย ลักษณะของการขนถ่าย เป็นต้น อย่างไรก็ตาม คุณสมบัตินี้ นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบและกำหนดคุณภาพของกล่องกระดาษลูกฟูกให้เหมาะสมกับสินค้า เครื่องมือที่ใช้คือ Compression tester มาตรฐานที่ใช้ทดสอบได้แก่ มอก.321-2530 ข้อ 7.5

2.10.6 ความทนต่อแรงฉีกขาด (Tearing strength) เป็นการทดสอบค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการฉีกกระดาษที่มีรอยบากไว้แล้ว มีหน่วยเป็น mN มิลลินิวตัน การทดสอบนี้มีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพของกระดาษ ลูกกระดาษและกล่องกระดาษแข็ง มีค่าอยู่ประมาณ 39-3,000 mN มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ ASTM D 5734-95

บทที่ 3

การทดลอง

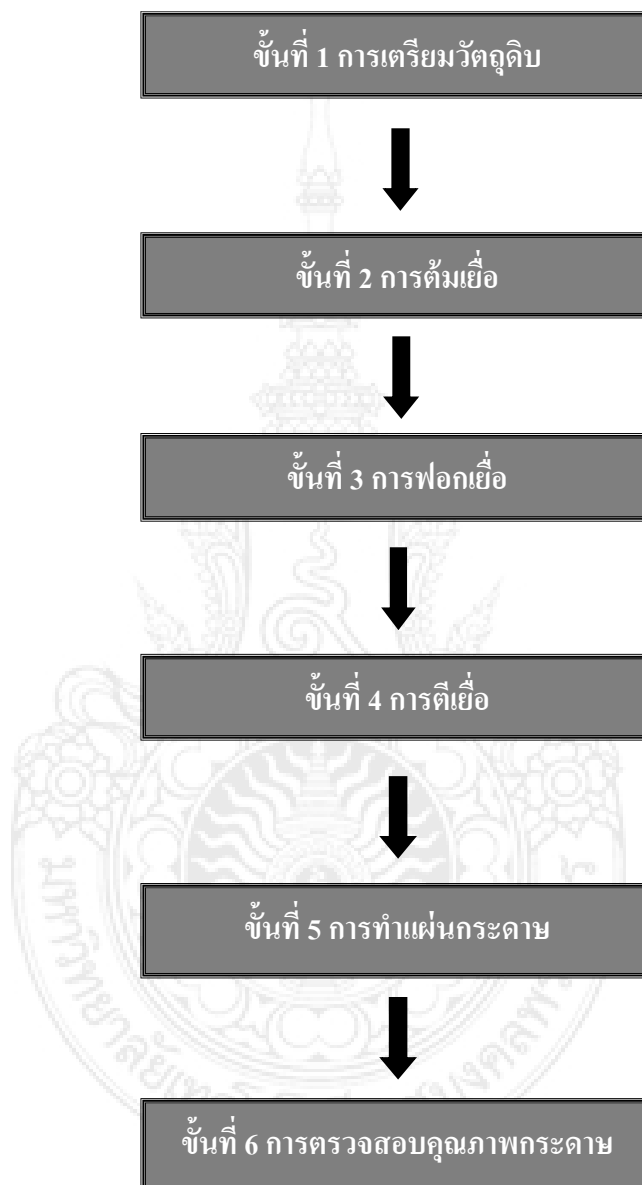
ในการทดลองครั้งนี้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของกระดาษ ผักตบชวา ศึกษาผลการเติมสารกระจายเชื้อต่อลักษณะทางกายภาพของกระดาษ ศึกษาผลการเติมสารเติมแต่งต่อสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษ และเพื่อหาค่าประกอบที่เหมาะสมในการขึ้นรูปกระดาษเพื่องานบรรจุภัณฑ์

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

1. ผักตบชวา พันธุ์ ก้านยาว อายุ 5-6 เดือน แหล่งที่มา อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี
2. สับปะรด พันธุ์ นางแล อายุ 10-12 เดือน แหล่งที่มา อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี
3. กาบกล้วย ต้นกล้วยน้ำหว่า อายุ 4-5 เดือน แหล่งที่มา อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี
4. กระจับปี่ แหล่งที่มา อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี
5. ว่านหางจระเข้ พันธุ์ Aloe Indica Royle อายุ 5-6 เดือน แหล่งที่มา อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี
6. ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ชนิดผง, บริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด
7. Sodium hydroxide (NaOH), เกรดการค้า บริษัท บุญทวีเคมีภัณฑ์ จำกัด
8. Hydrogen peroxide (H₂O₂), เกรดการค้า บริษัท บุญทวีเคมีภัณฑ์ จำกัด
9. Acramin 3187, เกรดการค้า บริษัท บุญทวีเคมีภัณฑ์ จำกัด
10. สารสะท้อนน้ำ (Waterproof base of fluorocarbon), บริษัท พีริเซียส เคมีคอล จำกัด
11. ถังสแตนเลส
12. Hot plate
13. บล็อกสำหรับขึ้นเชื้อกระดาษให้เป็นแผ่นขนาด 32 × 38 เซนติเมตร
14. เครื่องปั่น (Blender) รุ่น HR2001, (บริษัท Philips จำกัด)
15. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Super – series, precisa A205)
16. ตู้อบ ULE 600, (บริษัท เบคไทย จำกัด)

3.2 การทดลอง

ขั้นตอนการทำงาน



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตกระดาษ

ขั้นที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำวัตถุดิบผักตบชวา ใบสับประรด กัลฉ่าย มาล้างทำความสะอาด โดยล้างน้ำเปล่า 3 ครั้ง แล้วตัดวัตถุดิบเป็นชิ้นเล็กๆ มีความยาวประมาณ 1 นิ้ว แช่น้ำทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อให้วัตถุดิบอ่อนตัว จะทำให้สารเคมีซึมเข้าไปทั่วเส้นใยได้ดี โดยทำการหาลงค์ประกอบที่เหมาะสมในการทำกระดาษ

1. การหาสารกระจายเยื่อที่เหมาะสมในการขึ้นรูปกระดาษ ทำการศึกษาหาสารกระจายเยื่อที่เหมาะสมในการขึ้นรูปกระดาษ คือ กระจีบบ วานหางจระเข้ และสารยึดเกาะ (Binder) แล้วทำการตีเยื่อโดยการใช้เครื่องปั่น ให้เข้ากันอย่างละเอียด หลังจากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นกระดาษ

2. การหาลงค์ประกอบที่เหมาะสมในการขึ้นรูปกระดาษเพื่องานบรรจุภัณฑ์ ทำการศึกษาวัตถุดิบที่น่าจะมาขึ้นรูปกระดาษ คือ ผักตบชวาสด ใบสับประรดสด กาบกล้วยสด ในปริมาณอย่างละ 100 กรัม ทำการต้มที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเส้นใยที่แยกได้มาทำความสะอาด แล้วล้างน้ำเปล่า 3 ครั้ง ให้สะอาด

3. การหาผลการเติมสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษ ทำการศึกษาผลของสารเติมแต่ง คือ ถ่านกัมมันต์ ที่ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษ

ขั้นที่ 2 การต้มเยื่อ

นำวัตถุดิบที่ได้ทำความสะอาดมาชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบอย่างละ 1 kg แล้วทำการต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 10 g/l อุณหภูมิ 90-100 °C เวลา 3 ชั่วโมง โดยคนทุกๆ ชั่วโมง หลังจากนั้นให้แช่เยื่อที่ต้มแล้วเอาไว้ในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้มต่ออีก 1 คืน เพื่อให้เกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์และสะดวกต่อการปฏิบัติงานเมื่อเย็นลง แล้วล้างเอาค้างออกจากเยื่อด้วยน้ำ 3 ครั้ง โดยดูจากเมื่อจับดูแล้วไม่มีความลื่นที่มือ แล้วนำเยื่อที่ได้ตากแดดให้แห้ง

ขั้นที่ 3 การฟอกเยื่อ

นำวัตถุดิบที่ผ่านการต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาชั่งน้ำหนัก 100 กรัม แล้วทำการฟอกเยื่อด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 5 g/l อุณหภูมิ 90-100 °C เวลา 30 นาที คนให้ทั่ว เมื่อครบเวลานำมาล้างด้วยน้ำเปล่า 3 ครั้ง ให้สะอาด แยกเศษเส้นใยส่วนที่แห้ง และสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ที่ติดมาออกให้หมด

ขั้นที่ 4 การตีเยื่อ

นำเยื่อที่ผ่านกระบวนการฟอกเยื่อ สารกระจายเยื่อ และสารเติมแต่ง มาชั่งน้ำหนัก ในอัตราส่วนที่กำหนดแล้วทำการปั่นผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นกระดาษ ในขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 5 การทำแผ่นกระดาษ

การทำแผ่นกระดาษเป็นการเทเยื่อที่ได้จากการผสมเยื่อดีแล้วลงไปบนตะแกรง ในลอนที่ใช้ทำแผ่นกระดาษ ตะแกรงนี้จะลอยน้ำเมื่อเทเยื่อลงไปเยื่อก็จะลอยน้ำอยู่บนตะแกรงทำการเกลี่ยเยื่อภายในตะแกรงให้มีความสม่ำเสมอทั้งแผ่น หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 90-100 °C เมื่อกระดาษแห้งแล้วทำการดึงกระดาษออกจากตะแกรง

ขั้นที่ 6 การตรวจสอบคุณภาพกระดาษ

1. ลักษณะทางกายภาพของเส้นใย ทำการสังเกตลักษณะของแผ่นกระดาษ โดยสังเกตลักษณะทางกายภาพด้วยสายตา
2. ทดสอบด้านความคงทนต่อการฉีกขาด (Tearing test) ทำการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D 5734-95 (การทดสอบความคงทนต่อการฉีกขาด) โดยตัดแผ่นกระดาษขนาด 5 × 7 เซนติเมตร ทำการหมุนยึดชิ้นงานให้แน่น ลงมีดนำ แล้วจึงทำการทดสอบ เมื่อแผ่นกระดาษขาดทำการบันทึกค่าที่ได้ ทดสอบจำนวน 10 ครั้งด้วยเครื่องทดสอบความคงทนต่อแรงฉีกขาด (Tearing strength test) รุ่น Elmendorf tearing tester 1653
3. ทดสอบความหนาของกระดาษ (Thickness test) ทำการวัดความหนาโดยใช้เครื่องวัดความหนา เพื่อหาความหนาโดยเฉลี่ยของแผ่น กระดาษ ทดสอบจำนวน 10 ครั้งด้วยเครื่องวัดความหนา (Teclock thickness gauge) รุ่น SMD-565, (บริษัท Teclock corporation)
4. ทดสอบความคงทนต่อแรงดันทะลุ (Bursting strength test) ทำการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM 3786-01 (การทดสอบความคงทนต่อแรงดันทะลุ) ตัดแผ่นกระดาษขนาด 10 × 10 เซนติเมตร แล้วทำการหมุนตัวยึดชิ้นตัวอย่าง เพื่อใส่แผ่นกระดาษแล้วหมุนตัวยึดชิ้นตัวอย่างให้แน่น กดสวิทช์เพื่อให้เครื่องทำงาน เมื่อเส้นใยขาดทำการบันทึกค่าที่ได้ ทดสอบจำนวน 10 ครั้ง ด้วยเครื่องทดสอบความต้านแรงดันทะลุ (Bursting strength test), 229B, SDL, (SDL quality group)
5. การดูดซึมน้ำ (Adsorption) ทำการทดสอบโดยใช้มาตรฐานอุตสาหกรรม เลขที่ 321 (การทดสอบการดูดซึมน้ำ ในการทดสอบ) โดยทำการหยดน้ำ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลง

บนกระดาษทำการจับเวลาที่กระดาษดูดซึมน้ำปริมาณ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้หมดทำการบันทึกค่าที่ได้ ทดสอบจำนวน 10 ครั้ง

6. น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight) ทำการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ISO 536 (การทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน) โดยการตัดกระดาษขึ้นตัวอย่างขนาด 10×10 เซนติเมตร นำไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดแสดงค่าน้ำหนักมาตรฐานเป็นน้ำหนักต่อพื้นที่ คือ กรัมต่อตารางเมตร ทดสอบจำนวน 10 ครั้ง ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Super – series, precisa A205)

หมายเหตุ : ในการตรวจสอบคุณภาพกระดาษไม่มีการควบคุมสภาวะในการทดสอบ



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษจากการผสมเยื่อผักตบชวา สับปะรด และกล้วย การใส่สารกระจายเยื่อ และเพิ่มความแข็งแรงด้วยถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ปริมาณเส้นใยที่เหลือจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

ปริมาณเส้นใยที่เหลือจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบต้มแยกเส้นใยด้วย NaOH 10 g/l อุณหภูมิ 90 - 100 °C เวลา 3 ชั่วโมง ฟอกเยื่อด้วย H₂O₂ 5 g/l อุณหภูมิ 90 - 100 °C เวลา 30 นาที





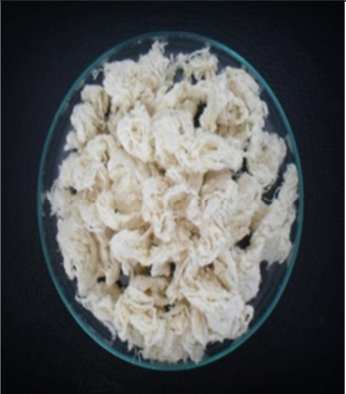
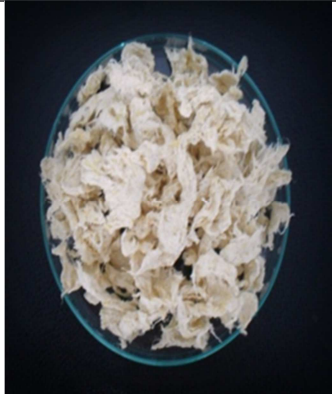
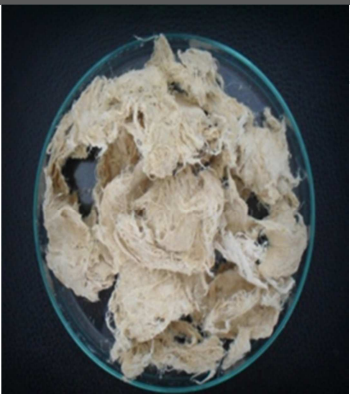
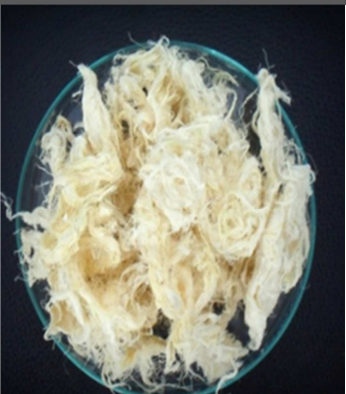

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักของวัตถุดิบก่อน – หลังกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	NaOH		H ₂ O ₂	
	ก่อนต้ม (g)	หลังต้ม (g)	ก่อนต้ม (g)	หลังต้ม (g)
ผักตบชวา	1000	35	1000	600
สับปะรด	1000	93	1000	460
กล้วย	1000	32	1000	380

จากผลของการต้มแยกเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าปริมาณเส้นใยที่เหลือค่อนข้างน้อย เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปกำจัดลิกนินและสิ่งสกปรกซึ่งเป็นองค์ประกอบของเส้นใย ทำให้เส้นใยที่ได้มีปริมาณลดน้อยลง และเมื่อทำการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกิดการทำปฏิกิริยาของสารเคมี เส้นใยที่เหลืออยู่จะถูกทำลายบางส่วนแต่

ไม่ถูกทำลายมากเท่ากับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ การฟอกขาวจะช่วยให้การกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆที่ยังเหลือจากการต้มแยก เส้นใยและช่วยให้เส้นใยมีความขาวเพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะปรากฏของเส้นใย

สถานะ วัตถุดิบ	ก่อนการต้ม	หลังการต้ม NaOH	หลังการฟอกขาว H_2O_2
ฝักตบชวา			
สับประรด			
กล้วย			

4.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษจากเยื่อธรรมชาติ

ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพเพื่อคุณสมบัติของเยื่อกระดาษทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ ผักตบชวา 100 %, สับปะรด 100 % และกล้วย 100 % ในด้านความหนา ความต้านทานแรงดันทะลุ ความคงทนต่อแรงฉีกขาด ทำการศึกษาจำนวน 10 ครั้ง (ภาคผนวก ก) ผลการศึกษาดังนี้

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพจากเยื่อธรรมชาติ 100%

ประเภทของเยื่อ	ความหนา (mm)		ความต้านทานแรงดันทะลุ (kN/m ²)		ความคงทนต่อแรงฉีกขาด (mN)	
	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.
ผักตบชวา	0.39	0.02	21.20	1.71	235	20.11
สับปะรด	0.40	0.03	23.60	1.75	246	20.68
กล้วย	0.37	0.01	25.50	1.58	263	18.67

จากตารางที่ 4.2 สมบัติของกระดาษที่ได้ด้านความหนาพบว่ากระดาษจากสับปะรด มีความหนามากที่สุด 0.40 มิลลิเมตร ผักตบมีความหนา 0.39 มิลลิเมตร กล้วยมีความหนา 0.37 มิลลิเมตร เนื่องจากสับปะรดเมื่อผ่านการต้มเยื่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาณเยื่อคงเหลือค่อนข้างสูง สับปะรดมีความแข็งแรงจึงถูกทำลายได้น้อยกว่าผักตบชวา สมบัติความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษซึ่งเป็นวิธีการทดสอบความแข็งแรงของกระดาษที่สามารถต้านแรงดันที่กระทำบนแผ่นกระดาษ เมื่อทำการทดสอบด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนทำให้กระดาษทดสอบเกิดรอยปริหรือรอยแยกออกจากกัน ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติคือความหนาและคุณสมบัติของตัวเส้นใย จากการทดลองพบว่ากระดาษที่ได้จากกล้วยมีความต้านทานแรงดันทะลุมากที่สุด 25.50 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร สับปะรด 23.60 กิโลนิวตันต่อ

ตารางเมตร ผักตบชวา 21.20 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร และกระดาษจากกล้วยมีความคงทนต่อแรงฉีกขาดมากที่สุด 263 มิลลินิวตัน สับปะรด 246 มิลลินิวตัน ผักตบชวา 235 มิลลินิวตัน เนื่องจากกล้วยเป็นเส้นใยยาวที่มีความเหนียวสูงจึงทำให้ความสามารถในการเกาะเกี่ยวกันสูงกว่าผักตบชวา และสับปะรดซึ่งเป็นเส้นใยสั้น

4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษจากการผสมเยื่อชนิดต่างๆ

เยื่อกระดาษที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ เยื่อผักตบชวา เยื่อใบสับปะรด และเยื่อเส้นใยกล้วย นำเยื่อทั้งสามชนิดมาทำการผสมในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษที่ได้ ทำการศึกษาจำนวน 10 ครั้ง (ภาคผนวก ก) ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางกายภาพของกระดาษจากการผสมเยื่อชนิดต่างๆ

การผสมเยื่อชนิดต่างๆ	ความหนา (mm)		ความต้านทานแรงดันทะลุ (kN/m ²)		ความคงทนต่อแรงฉีกขาด (mN)	
	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.
ผักตบชวา 70 % สับปะรด 10 % กล้วย 20 %	0.45	0.02	31.10	2.98	309	22.34
ผักตบชวา 70 % สับปะรด 15 % กล้วย 15 %	0.46	0.03	28.40	3.02	260.50	25.50
ผักตบชวา 70 % สับปะรด 20 % กล้วย 10 %	0.49	0.03	27.30	3.07	279	25.58

จากตารางที่ 4.4 สมบัติของกระดาษที่ได้ด้านความหนาพบว่ากระดาษจากผักตบชวา 70 % สับปะรด 20% กล้วย 10 % มีความหนามากที่สุด 0.49 มิลลิเมตร ผักตบชวา 70 %

สับปะรด 15 % กล้วย 15 % มีความหนา 0.46 มิลลิเมตร และผักตบชวา 70 % สับปะรด 10 % กล้วย 20 % มีความหนา 0.45 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเชื้อที่ได้จากเส้นใยผักตบชวาเมื่อผ่านการเตรียมวัตถุดิบจะให้ปริมาณที่น้อยสุด และเชื้อจากสับปะรดให้ปริมาณเชื้อที่เหลืองมากที่สุด ดังนั้นจึงนำเชื้อสับปะรด มาช่วยเพิ่มปริมาณเชื้อให้กระดาศมีความหนามากขึ้น สมบัติความต้านทานแรงดันทะเลของกระดาศซึ่งเป็นวิธีการทดสอบความแข็งแรงของกระดาศที่สามารถต้านแรงดันที่กระทำบนแผ่นกระดาศเมื่อทำการทดสอบด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ จนทำให้กระดาศทดสอบเกิดการรอยปริหรือรอยแยกออกจากกัน ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติคือ ความหนาและคุณสมบัติของเส้นใย จากการทดลองพบว่ากระดาศที่ได้จากผักตบชวา 70 % สับปะรด 10% กล้วย 20 % มีความต้านทานแรงดันทะเลมากที่สุด 31.10 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ผักตบชวา 70 % สับปะรด 15 % กล้วย 15 % ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 28.40 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ผักตบชวา 70 % สับปะรด 20 % กล้วย 10 % มีความต้านทานแรงดันทะเล 27.30 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร กระดาศจากเชื้อกล้วยสามารถทนแรงกระทำได้มากที่สุด เนื่องจากกล้วยมีลักษณะเป็นเส้นใยยาวที่มีความเหนียวสูง สมบัติความคงทนต่อแรงฉีกขาด เป็นการทดสอบความแข็งแรงของเส้นใย กระดาศที่ได้จากผักตบชวา 70 % สับปะรด 10% กล้วย 20 % ความคงทนต่อแรงฉีกขาดมากที่สุดคือ 309 มิลลินิวตัน ผักตบชวา 70 % สับปะรด 20 % กล้วย 10 % ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 279 มิลลินิวตัน และผักตบชวา 70 % สับปะรด 15 % กล้วย 15 % ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 260.50 มิลลินิวตัน

จากผลการทดลองดังกล่าว พบว่าอัตราส่วนการผสมเชื้อผักตบชวา 70 % สับปะรด 10 % กล้วย 20 % มีความเหมาะสมในการทำกระดาศ เนื่องจากผลทดสอบที่ได้มีความหนา 0.486 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะเล 31.1 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 306 มิลลินิวตัน ทำให้ได้กระดาศที่มีความแข็งแรงเหมาะสมสำหรับการใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

4.4 การทดสอบประเภทของสารกระจายเชื้อต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาศ

การศึกษาผลของสารกระจายเชื้อต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาศ โดยใช้ อัตราส่วนการผสมเชื้อผักตบชวา 70 % สับปะรด 10 % กล้วย 20 % การใส่สารกระจายเชื้อเป็นการทำให้เชื้อเกิดการกระจายตัวที่ดี ง่ายต่อการทำให้เชื้อมีความสม่ำเสมอในขั้นตอนการช้อนเชื้อ

กระดาษที่ได้มีความสม่ำเสมอมากกว่าการซ้อนเยื่อโดยที่ไม่ใส่สารกระจายเยื่อเพราะ เยื่อเกิดการเกาะกลุ่มทำให้กระดาษไม่สม่ำเสมอ สารกระจายเยื่อที่ได้จากธรรมชาติได้แก่ กระเจี๊ยบ ว่านหางจระเข้ ส่วนที่นำมาใช้คือส่วนที่เป็นเมือก และสารกระจายเยื่อที่ได้จากการสังเคราะห์ประเภทพอลิเมอร์ได้แก่ Acramin ทำการศึกษาจำนวน 10 ครั้ง (ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางกายภาพจากการใส่สารกระจายเยื่อ

ชนิดสารกระจายเยื่อ	ความหนา (mm)		ความต้านทานแรง ดันทะลุ (kN/m ²)		ความคงทนต่อแรง ฉีกขาด (mN)	
	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.
กระเจี๊ยบ 5 g/l	0.49	0.01	31.30	1.58	310.80	21.50
ว่านหางจระเข้ 5 g/l	0.49	0.01	29.30	1.79	320.00	17.67
สารยัดเกาะ Acramin 5 g/l	0.51	0.02	33.90	1.89	333.00	11.60

จากตารางที่ 4.5 สมบัติของกระดาษที่ได้ด้านความหนาพบว่ากระดาษจากการใส่สารกระจายเยื่อที่เป็นสาร Acramin มีความหนามากที่สุด 0.51 มิลลิเมตร สารกระจายเยื่อจากกระเจี๊ยบและ ว่านหางจระเข้ มีความหนาเท่ากันคือ 0.49 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่ากระดาษที่ได้จากสาร Acramin มีความต้านทานแรงดันทะลุมากที่สุด 33.90 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร กระเจี๊ยบ 31.30 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ว่านหางจระเข้ 29.30 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร กระดาษที่ได้จากสาร Acramin มีความคงทนต่อแรงฉีกขาดมากที่สุด 333 มิลลินิวตัน ว่านหางจระเข้ 320 มิลลินิวตัน กระเจี๊ยบ 310.80 มิลลินิวตัน แสดงให้เห็นว่าการใส่สารกระจายเยื่อที่ได้จากสาร Acramin ส่งผลให้การกระจายเยื่อในการขึ้นรูปกระดาษมีการกระจายตัวได้ดีกว่ากระเจี๊ยบและว่านหางจระเข้ เนื่องจากสาร Acramin เมื่อใส่ไปในขั้นตอนการซ้อนเยื่อจะช่วยให้เยื่อกระจายตัวอยู่บริเวณผิวน้ำ ช่วยให้เรากระจายเยื่อได้ง่าย เยื่อมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบมากขึ้น และใน

ขั้นตอนการอบแห้งกระดาษ สาร Acramin ซึ่งเป็นพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการพอร์มตัวเป็นฟิล์มเคลือบบนแผ่นกระดาษ ทำให้เส้นใยไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ส่งผลให้ความแข็งแรงของกระดาษเพิ่มขึ้น สารกระจายเยื่อที่ได้จากธรรมชาติจะได้ปริมาณเมือกที่น้อยกว่าการสกัดความสามารถในการกระจายเยื่อต่ำกว่าสาร Acramin กระดาษที่ได้จากการใส่สารกระจายเยื่อ Acramin มีความหนาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยคือ 0.51 มิลลิเมตร ความแข็งแรงของกระดาษเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงคั้นทะลุ 33.90 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อการฉีกขาด 333 มิลลินิวตัน ดังนั้นเราจึงเลือกสาร Acramin เป็นสารกระจายเยื่อในการศึกษาขั้นต่อไป

4.5 การเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษด้วยถ่านกัมมันต์

การใส่น้ำถ่านกัมมันต์ในการเพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษ อนุภาคของถ่านกัมมันต์จะไปเคลือบอยู่ที่บริเวณเยื่อทำให้กระดาษที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางกายภาพจากการใส่ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (%)	ความหนา (mm)			ความต้านทานแรงคั้นทะลุ (kN/m ²)			ความคงทนต่อแรงฉีกขาด (mN)		
	\bar{X}	S.D.	$\Delta H(\%)$	\bar{X}	S.D.	$\Delta H(\%)$	\bar{X}	S.D.	$\Delta H(\%)$
0	0.51	0.02	0.00	33.90	1.79	0.00	333	11.60	0.00
5	0.52	0.02	1.96	36.9	2.73	8.85	360	24.04	8.11

หมายเหตุ: $\Delta H(\%)$ หมายถึงค่าความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลง

$$\Delta H(\%) = \frac{(H_5 - H_0)}{H_0} \times 100$$

จากตารางที่ 4.6 พบว่ากระดาษที่ไม่ได้ใส่ถ่านกัมมันต์มีความหนาเฉลี่ย 0.51 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 33.90 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 333 มิลลินิวตัน กระดาษที่ใส่ถ่านกัมมันต์ มีความหนาเฉลี่ย 0.52 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 36.9 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 360 มิลลินิวตัน เนื่องจากอนุภาคของถ่านกัมมันต์จะไปเคลือบอยู่ที่บริเวณเยื่อทำให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น

จากการทดลองพบว่า การใส่ถ่านกัมมันต์จะช่วยเพิ่มความหนาของกระดาษเล็กน้อย กระดาษความหนาที่ คือ 1.96 % ความต้านทานแรงดันทะลุเพิ่มขึ้น 8.85 % ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 8.11% ดังนั้นเราจึงเลือกที่จะใช้ถ่านกัมมันต์ในการเพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษ

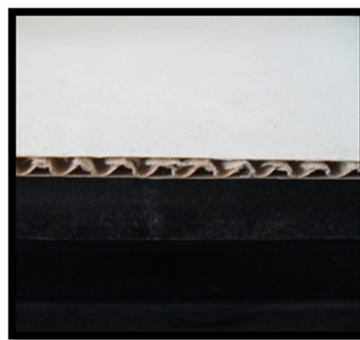
4.6 น้ำหนักมาตรฐาน (Basic Weight)

จากผลการทดสอบของกระดาษที่ได้จากอัตราส่วนเยื่อฝักตบชวา 70 % สับประรด 10 % กล้วย 20 % สารยึดเกาะ (Acramin) 5 g/l น้ำถ่านกัมมันต์ 5% เมื่อนำมาหาคำนวณน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ (แกรม) ได้ค่าเฉลี่ยที่ 185 กรัมต่อตารางเมตร กระดาษที่ได้สามารถนำไปติดบนลอนลูกฟูกและทำเป็นกล่องบรรจุภัณฑ์ทั่วไป เช่น กล่องบรรจุแก้ว กล่องอาหารสำเร็จรูป

จากข้อมูลกระดาษกราฟที่พบว่ากระดาษมีหลายชนิดดังนี้ กระดาษกราฟที่ KS มีน้ำหนักมาตรฐาน 170 กรัม/ตารางเมตร ใช้สำหรับกล่องที่เน้นความสวยงาม และใช้สำหรับกล่องเครื่องใช้ไฟฟ้า กระดาษกราฟที่ KA มีน้ำหนักมาตรฐาน 125 กรัม/ตารางเมตร ใช้สำหรับกล่องเฟอร์นิเจอร์ กระดาษกราฟที่ KI มีน้ำหนักมาตรฐาน 185 กรัม/ตารางเมตร ใช้สำหรับกล่องสินค้าหรืองานบรรจุภัณฑ์ทั่วไป เช่น กล่องอาหารสำเร็จรูป กระดาษกราฟที่ KP น้ำหนักมาตรฐาน 275 กรัม/ตารางเมตร ใช้สำหรับกล่องสินค้าส่งออก กระดาษกราฟที่ KT มีน้ำหนักมาตรฐาน 150 กรัม/ตารางเมตร ใช้สำหรับสินค้าส่งออก กระดาษกราฟที่ CA มีน้ำหนักมาตรฐาน 105 กรัม/ตารางเมตร ใช้สำหรับทำลอนลูกฟูก จากการทดลองกระดาษที่ได้มีน้ำหนัก 185 กรัม/ตารางเมตร เทียบเท่ากับกระดาษกราฟที่ KI จึงสามารถนำไปประกอบบนลอนลูกฟูกและนำไปใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ได้ ถ้าต้องการเพิ่มน้ำหนักและความแข็งแรงของกระดาษสามารถปรับเพิ่มปริมาณน้ำถ่านกัมมันต์ได้

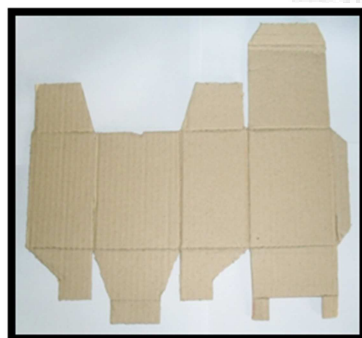


ก. กระดาษก่อนติดบนลอนลูกฟูก



ข. กระดาษเมื่อติดบนลอนลูกฟูก

ภาพที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของกระดาษที่ได้จากการศึกษา
(ผักตบชวา 70 % สับปะรด 10% และกล้วย 20 %)



ก. แบบกล่องกระดาษ



ข. กล่องบรรจุภัณฑ์ที่ได้

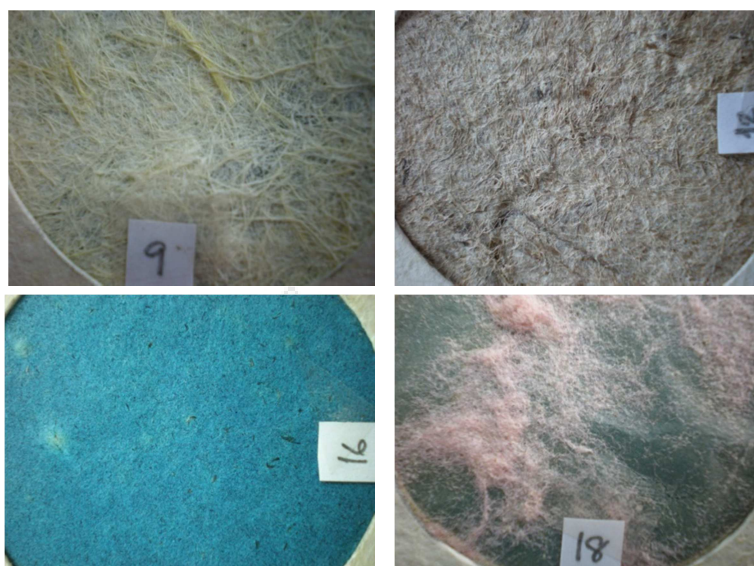
ภาพที่ 4.2 บรรจุภัณฑ์กระดาษที่ได้จากการศึกษา

4.7 บทสรุป

มีการนำเศษพืชอื่นๆ ได้แก่ ใบสับประรด และกากกล้วยที่เป็นสิ่งไร้ค่ามาเป็นวัตถุดิบเพิ่มเติมในการผลิตกระดาษผัดบขวา เพื่อให้มีการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น กระดาษที่ได้ไม่มีความแตกต่างจากกระดาษทั่วไป เนื่องจากการวิจัยนี้ต้องการนำสิ่งไร้ค่า หรือขยะจากการเกษตรและวัชพืชน้ำมาใช้ประโยชน์ จากผลการวิจัยพบว่ากระดาษที่ผลิตขึ้นมาสามารถใช้เป็นวัสดุทดแทนที่มีคุณภาพได้ ส่วนด้านความแข็งแรงและผิวสัมผัสสามารถกำหนดได้จากคุณสมบัติสุดท้ายที่ต้องการและใช้การเติมแต่งสารเสริมเข้าเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการเพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้งานให้มากขึ้น เช่น เพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษด้วยน้ำอานกัมมันต์ การเพิ่มสีสันโดยนำไปย้อมสี เป็นต้น นอกจากนี้จากผลการวิจัยยังพบว่ากระดาษที่ผลิตจากเศษวัชพืชเหล่านี้สามารถย่อยสลายได้ในดินไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศอีกด้วย



ภาพที่ 4.3 กระดาษที่ได้จากการวิจัยแยกตามความหนา-บาง



ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างเนื้อกระดาษที่ได้จากการวิจัย



ก. ถูงปลูกลงต้นไม้

ข. กระดาษทำแบบตัด



ค. หมวกกันแดด



ง. ปกนอกและปกในสมุด

ภาพที่ 4.5 การประยุกต์ใช้จากกระดาษเพื่อทำผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ผักตบชวาเป็นวัชพืชที่มีปริมาณมากตามแหล่งน้ำ คลอง บึงทั่วไปที่ ปัจจุบัน ปริมาณผักตบชวาในแหล่งน้ำต่างเพิ่มปริมาณมากขึ้น กีดขวางการจราจรทางน้ำ และเมื่อเน่าเปื่อยจะทำให้เกิดปัญหาน้ำเสีย ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำผักตบชวามาทำให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น งานจักสาน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีผลการวิจัยโดยการนำผักตบชวามาผลิตในรูปแบบผ้าไม่ทอ (Non woven) ซึ่งเป็นสิ่งทอเพื่องานเทคนิค ซึ่งถือได้ว่าเป็นทางเลือกใหม่ในการใช้งานผลิตภัณฑ์สิ่งทอในท้องตลาด แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการนำผักตบชวามาผลิตเป็นผ้าไม่ทอนั้นมีปัญหาเนื่องจาก ชิ้นงานที่ได้มีปริมาณเยื่ออยู่น้อย ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้ในงานวิจัยครั้งนี้จึงมีการหาพืชชนิดอื่นเข้ามาช่วยในการเพิ่มเนื้อให้กับกระดาษ ได้แก่ สับปะรด กล้วย จากการศึกษาค้นคว้าทดลองเบื้องต้นพบว่าพืชเหล่านี้ สามารถเพิ่มเนื้อเยื่อให้กับกระดาษจากผักตบชวาได้ แต่การใช้พืชอื่นเพียงอย่างเดียวในการเพิ่มเนื้อ พบว่ากระดาษที่ได้จะมีผิวสัมผัสที่กระด้าง ดังนั้นเพื่อให้ได้กระดาษที่มีคุณภาพดีและมีปริมาณเยื่อที่สูง ในโครงการนี้จึงศึกษาการนำพืชหลายๆ ชนิดมาผสมกัน และเพิ่มสารเพิ่มความแข็งแรง เพื่อให้กระดาษมีความแข็งแรง และนำไปใช้ประโยชน์เพื่อใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ การผลิตชิ้นงานต่อไป

การศึกษาเรื่องการพัฒนากระดาษผักตบชวาเพื่องานบรรจุภัณฑ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของกระดาษจากการผสมเยื่อในอัตราส่วน ผักตบชวา 70 % สับปะรด 10 % กล้วย 20 % จากนั้นเพิ่มสมบัติเพื่อให้กระดาษที่ได้มีความสามารถในการใช้งานเป็นกระดาษเพื่องานบรรจุภัณฑ์โดย ศึกษาผลการเติมสารกระจายเยื่อ และ สารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษด้วยถ่านกัมมันต์ ในการศึกษาทำการเตรียมกระดาษขนาด 32×38 เซนติเมตร พื้นที่รวม 1,216 ตารางเซนติเมตร จากผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนในการผสมเยื่อต่างๆ ที่เหมาะสมคือ ผักตบชวา 70 % สับปะรด 10 % กล้วย 20 % สารกระจายเยื่อที่เหมาะสม Acramin 5 g/l และเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษโดยใช้น้ำจากการละลายถ่านกัมมันต์ 5% w/v กระดาษที่ได้มีความหนา 0.537 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 35.4 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 356 มิลลินิวตัน กระดาษที่ได้มีน้ำหนักมาตรฐานเทียบเท่ากับกระดาษคราฟท์ KI 185 กรัม/ตารางเมตร มีความเรียบความสม่ำเสมอ สามารถทนแรงดันทะลุ และแรงฉีกขาดได้ดี สามารถนำไปใช้นำมาประกอบบนลอนลูกฟูกและไปใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์

นอกจากนี้พบว่ากระดาษที่ได้จากการผสมเส้นใยจากวัตถุดิบต่างประเภทกันมีความสามารถใช้งานได้เทียบเท่ากับกระดาษทั่วไป ทั้งผิวสัมผัส และ ความหนาในการใช้งานสามารถประยุกต์ใช้กับการทำผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ ได้อีกมากมาย โดยทำการควบคุมสถานะในการผลิตได้แก่

- 1) ความหนาและบางของกระดาษ ตัวแปรควบคุมคือปริมาณเยื่อกระดาษที่ใช้ในการขึ้นรูป
- 2) ลวดลายเนื้อกระดาษ ตัวแปรควบคุมคือประเภทของเส้นใยที่เลือกและการเตรียมเส้นใยในการขึ้นรูปกระดาษ
- 3) การเพิ่มสีสรรให้แก่กระดาษ โดยนำกระดาษที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปและพร้อมใช้งาน ไปย้อมสี หรือพิมพ์ลวดลาย หรือระบายสีได้ตามต้องการ
- 4) การเพิ่มความแข็งแรงแก่กระดาษ สามารถทำโดยการเพิ่มน้ำกัมมันต์ลงไประหว่างกระบวนการผลิตและขึ้นรูปกระดาษ เพื่อให้สามารถใช้งานได้มากขึ้น

ดังนั้นการหาวัสดุทดแทนในการเตรียมผลิตภัณฑ์กระดาษจากเศษวัชพืชจึงเป็นการลดปัญหาการขาดแคลนเชื้อไม้ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัชพืช นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยลดการสูญเสียงบประมาณในการกำจัดวัชพืช และช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง และเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการกับปัญหาสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน



บรรณานุกรม

- ทรงพล เจริญรักษา และคณะ. การแยกเส้นใยจากผักตบชวา. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2546.
- ธนธร ทองสัมฤทธิ์ และสุชาภา เนตรประดิษฐ์. การผลิตเยื่อและกระดาษจากใบรูปถ่ายเพื่อ
 นวัตกรรมบรรจุภัณฑ์. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
 ครั้งที่ 31, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, จ.นครราชสีมา, 2548.
- นัยนา นิยมวัน. การผลิตกระดาษ. [ออนไลน์]. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง
 ประเทศไทย. แหล่งที่มา:
http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=77&i2=7, 30 กรกฎาคม
 2552.
- นิศากร เจริญดี. 2546. การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากผักตบชวา, การประชุมการป่าไม้ประจำปี
 2545 : ศักยภาพของป่าไม้ต่อการฟื้นฟูเศรษฐกิจไทย . กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและ
 พันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- บริษัท ไทยเปเปอร์บ็อกซ์ จำกัด. ชนิดของกระดาษคราฟท์. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก
<http://www.thaipaperbox.com>, (15/11/2553).
- ปฎิบุญญ์ อิ่มกระจ่าง และคณะ. สมบัติของเส้นใยจากผักตบ. มหาลัยวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์.
 2546.
- ปิยพล นาคเบญจพร และ ไตรรงค์ ไกรสุรพงศ์. การผลิตเยื่อกระดาษด้วยเทคนิคฟอร์มมาเซลจาก
 เปลือกปอสา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2543
- โรงเรียนบางระจันวิทยา. ศึกษาการใช้ส่วนต่างๆของกล้วยมาเป็นเยื่อประสาน. อำเภอบางระจัน
 จังหวัด สิงห์บุรี. 2541.
- โรงเรียนสุราษฎร์พิทยา. การคัดเลือกเยื่อในการทำกระดาษ. อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัด
 สุราษฎร์ธานี. 2533.
- วิวัฒน์ อรรถพานุรักษ์. การผลิตเยื่อเคมีจากไม้ยูคาลิปตัสโดยใช้กรดอะซิติกที่ความดัน
 บรรยากาศ, ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41: สาขา
 วิทยาศาสตร์ สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
 กรุงเทพฯ. 2546.
- วิวัฒน์ อรรถพานุรักษ์และคณะ. การผลิตเยื่อคราฟท์จากหญ้าแฝก. [ออนไลน์] งานพัฒนาเคมี
 ผลผลิตป่าไม้. แหล่งที่มา: [http://www.forest.go.th/forprod/chemical/pdf/การผลิตเยื่อ
 คราฟท์จากหญ้าแฝก.pdf](http://www.forest.go.th/forprod/chemical/pdf/การผลิตเยื่อคราฟท์จากหญ้าแฝก.pdf), 28 กรกฎาคม 2552.

- วิทยา ปั่นสุวรรณ. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้สำหรับ
อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ. โครงการถ่ายทอดงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรมเยื่อและ
กระดาษจากปอสา. แหล่งที่มา: [http://posaa.kapi.ku.ac.th/Document/PDF/Final
Rep2001_V2/Full_2A-1-1\(1\).pdf](http://posaa.kapi.ku.ac.th/Document/PDF/Final
Rep2001_V2/Full_2A-1-1(1).pdf), 20 กรกฎาคม 2552.
- วิทยาลัยประมงดินสุลานนท์. สถานะการแยกเส้นใยจากต้นรูปถั่ว. วิทยาลัยประมง
ดินสุลานนท์ จังหวัด สงขลา. 2552.
- วุฒินัน คงทัต. สารกระจายเยื่อเพื่อช่วยในความสำเร็จ. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก [http://
posaa.kapi.ku.ac.th/Document/PDF](http://posaa.kapi.ku.ac.th/Document/PDF), (15/11/2553).
- สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. ศึกษาสารกระจายเพื่อ
ความสำเร็จของกระดาษ. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. 2545.
- สุชาปา เนตรประดิษฐ์ และคณะ. การพัฒนากระดาษใบสับประรดที่เหมาะสมต่อการพิมพ์บรรจุ
ภัณฑ์สำหรับสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์, ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วทท.) ครั้งที่ 31. สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยใน
พระบรมราชูปถัมภ์, 2548.
- สุนันท์ ลีมิตรกุลและคณะ. การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษจากปอแก้ว.
(รายงานฉบับสมบูรณ์) 2542.
- เสาวรจน์ โสภากวีชัย. การเสริมแรงด้วยเส้นใยผักตบชวา. ศูนย์ศิลปาชีพบางไทร จังหวัด
พระนครศรีอยุธยา. 2532.
- เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร และ อรุษา สรวารี. การเสริมแรงอย่างธรรมชาติด้วยเส้นใยผักตบชวา.
2532.
- อุรวรรณ อุ่นแก้ว. ถ่านกัมมันต์. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก [http://www.napatsarun.com/
carbon.doc](http://www.napatsarun.com/
carbon.doc) (15/11/2553).
- _____, package. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.mew6.com/composer/
package/
package_18.php](http://www.mew6.com/composer/package/
package_18.php), 30 กรกฎาคม 2552.
- _____, การผลิตกระดาษจากรูปถั่วและผักตบชวา. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
[http://www.school.net.th/library/webcontest2003/100team/dlbs085/interEx/
informat
e/
paktob/appear.htm](http://www.school.net.th/library/webcontest2003/100team/dlbs085/interEx/informate/
paktob/appear.htm), 28 กรกฎาคม 2552.
- _____, กระบวนการผลิตกระดาษ. แหล่งที่มา: [http://www.supremeprint.net/
index.php?lay
=show&ac=article&Id=538771417](http://www.supremeprint.net/index.php?lay
=show&ac=article&Id=538771417), 28 กรกฎาคม 2552.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

การทดสอบสมบัติต่างๆจากเยื่อจากผักตบชวา สับประด กกล้วย

ตารางที่ ก1 สมบัติทางกายภาพของกระดาษเยื่อผักตบชวา 100 %

ครั้งที่	ความหนา (mm)	ความต้านทานแรงดันทะลุ (kN/m ²)	ความคงทนต่อแรงฉีกขาด (mN)
1	0.361	23	230
2	0.365	21	210
3	0.329	20	240
4	0.336	23	210
5	0.404	19	220
6	0.412	24	240
7	0.375	21	250
8	0.404	20	220
9	0.356	19	270
10	0.328	22	260
ค่าเฉลี่ย	0.367	21	235
R ²	0.962	0.970	0.970

จากตารางที่ ก1 พบว่ากระดาษที่ได้จากเยื่อผักตบ 100 % มีความหนาเฉลี่ย 0.367 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 21 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 235 มิลลินิวตัน

ตารางที่ ก2 สมบัติทางกายภาพของกระดาษจากเชื้อสับประรด 100 %

ครั้งที่	ความหนา (mm)	ความต้านทานแรงดัน ทะลุ (kN/m ²)	ความคงทนต่อแรงฉีกขาด (mN)
1	0.387	22	240
2	0.394	22	250
3	0.391	24	220
4	0.397	23	230
5	0.403	24	250
6	0.412	25	280
7	0.425	21	240
8	0.418	26	260
9	0.415	23	270
10	0.396	26	220
ค่าเฉลี่ย	0.404	24	246
R²	0.966	0.972	0.971

จากตารางที่ ก2 พบว่ากระดาษที่ได้จากเชื้อสับประรด 100 % มีความหนาเฉลี่ย 0.404 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 24 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 246 มิลลิวัตต์

ตารางที่ ๓3 สมบัติทางกายภาพของกระดาษจากเชื้อกล้วย 100 %

ครั้งที่	ความหนา (mm)	ความต้านทานแรงดันทะลุ (kN/m ²)	ความคงทนต่อแรงฉีกขาด (mN)
1	0.382	24	240
2	0.374	25	250
3	0.364	24	240
4	0.378	25	270
5	0.406	26	270
6	0.411	27	260
7	0.384	23	250
8	0.412	28	280
9	0.373	26	290
10	0.409	27	280
ค่าเฉลี่ย	0.389	26	263
R ²	0.928	0.973	0.973

จากตารางที่ ๓3 พบว่ากระดาษที่ได้จากเชื้อกล้วย 100 % มีความหนาเฉลี่ย 0.389 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 26 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 263 มิลลินิวตัน

การทดสอบทางกายภาพของกระดาษจากเยื่อผสมชนิดต่างๆ

ตารางที่ ก4 อัตราส่วนผักตบชวา 70 % สับปะรด 10 % กกล้วย 20 %

ครั้งที่	ความหนา (mm)	ความต้านทานแรงดัน ทะลุ (kN/m ²)	ความคงทนต่อแรงฉีก ขาด (mN)
1	0.416	28	270
2	0.450	33	290
3	0.471	30	290
4	0.477	29	320
5	0.485	28	330
6	0.452	31	310
7	0.425	34	300
8	0.462	28	340
9	0.412	33	290
10	0.410	37	350
ค่าเฉลี่ย	0.445	31	309
R ²	0.946	0.925	0.966

จากตารางที่ ก4 พบว่ากระดาษที่ได้จากเยื่อผักตบชวา 70 % เยื่อสับปะรด 10% เยื่อกล้วย 20 % มีความหนาเฉลี่ย 0.445 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 31 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 309 มิลลินิวตัน

ตารางที่ ๕ อัตราส่วนฝักตบชวา 70 % สับประด 15 % กกล้วย 15 %

ครั้งที่	ความหนา (mm)	ความต้านทานแรงดันทะลุ (kN/m ²)	ความคงทนต่อแรงฉีก ขาด (mN)
1	0.447	29	250
2	0.434	27	240
3	0.450	24	260
4	0.498	28	290
5	0.486	29	240
6	0.477	31	270
7	0.475	28	230
8	0.432	30	280
9	0.433	31	310
10	0.488	27	280
ค่าเฉลี่ย	0.462	28	261
R²	0.969	0.908	0.972

จากตารางที่ ๕ พบว่ากระดาษที่ได้จากเชื้อฝักตบชวา 70 % เชื้อสับประด 15 % เชื้อกล้วย 15 % มีความหนาเฉลี่ย 0.462 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 28 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 261 มิลลินิวตัน

ตารางที่ 6 อัตราส่วนผักตบชวา 70 % สับปะรด 20 % กล้วย 10 %

ครั้งที่	ความหนา (mm)	ความต้านทานแรงดัน ทะเล (kN/m ²)	ความคงทนต่อแรงฉีกขาด (mN)
1	0.441	33	260
2	0.567	27	240
3	0.498	26	270
4	0.471	25	310
5	0.440	23	300
6	0.448	26	280
7	0.415	25	270
8	0.482	28	270
9	0.517	31	280
10	0.581	29	310
ค่าเฉลี่ย	0.486	27	279
R ²	0.962	0.933	0.924

จากตารางที่ 6 พบว่ากระดาษที่ได้จากเชื้อผักตบชวา 70 % เชื้อสับปะรด 20 % เชื้อกล้วย 10 % มีความหนาเฉลี่ย 0.486 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะเล 27 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 279 มิลลินิวตัน

การทดสอบประเภทของสารกระจายเยื่อต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษ

ตารางที่ ก7 ใช้กระดาษ 5 g/1 เป็นสารกระจายเยื่อ

ครั้งที่	ความหนา (mm)	ความต้านทานแรงดัน ทะลุ (kN/m ²)	ความคงทนต่อแรงฉีกขาด (mN)
1	0.485	31	290
2	0.514	34	280
3	0.523	36	350
4	0.512	33	330
5	0.492	32	320
6	0.473	29	340
7	0.468	28	320
8	0.475	29	310
9	0.478	29	310
10	0.493	32	330
ค่าเฉลี่ย	0.491	31	311
R ²	0.969	0.930	0.950

จากตารางที่ ก7 พบว่ากระดาษที่ได้จากการใส่สารกระจายเยื่อ กระดาษ 5 g/1 มีความหนาเฉลี่ย 0.491 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 31 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 311 มิลลินิวตัน

ตารางที่ ๘ อัตราส่วนว่านหางจระเข้ 5 g/l เป็นสารกระจายเชื้อ

ครั้งที่	ความหนา (mm)	ความต้านทานแรงดันทะลุ (kN/m ²)	ความคงทนต่อแรงฉีกขาด (mN)
1	0.473	28	310
2	0.481	31	320
3	0.498	29	330
4	0.476	27	290
5	0.478	30	280
6	0.494	32	300
7	0.512	28	320
8	0.496	32	330
9	0.482	27	320
10	0.487	29	330
ค่าเฉลี่ย	0.488	29	320
R²	0.950	0.950	0.930

จากตารางที่ ๘ พบว่ากระดาษที่ได้จากการใส่สารกระจายเชื้อ ว่านหางจระเข้ 5 g/l มีความหนาเฉลี่ย 0.488 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 29 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 320 มิลลินิวตัน

ตารางที่ ๑๑ อัตราส่วนสาร Acramin 5 g/l เป็นสารกระจายเชื้อ

ครั้งที่	ความหนา (mm)	ความต้านทานแรงดันทะลุ (kN/m ²)	ความคงทนต่อแรงฉีกขาด (mN)
1	0.498	33	330
2	0.487	31	320
3	0.513	34	340
4	0.489	32	320
5	0.496	33	330
6	0.523	35	350
7	0.530	36	340
8	0.518	34	320
9	0.523	34	330
10	0.542	37	350
ค่าเฉลี่ย	0.512	34	333
R ²	0.930	0.969	0.932

จากตารางที่ ๑๑ พบว่ากระดาษที่ได้จากการใส่สารกระจายเชื้อ สาร Acramin 5 g/l มีความหนาเฉลี่ย 0.512 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 34 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 333 มิลลินิวตัน

การเพิ่มความแข็งแรงของกระดาดด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ก10 ไม้ใส่ถ่านกัมมันต์

ครั้งที่	ความหนา (mm)	ความต้านทานแรงดันทะลุ (kN/m ²)	ความคงทนต่อแรงฉีกขาด (mN)
1	0.487	31	330
2	0.489	32	320
3	0.496	33	340
4	0.498	33	320
5	0.513	34	330
6	0.518	34	350
7	0.523	34	340
8	0.523	35	320
9	0.530	36	330
10	0.542	37	350
ค่าเฉลี่ย	0.512	34	333
R²	0.969	0.946	0.932

จากตารางที่ ก10 พบว่ากระดาดที่ไม่ได้ใส่ถ่านกัมมันต์ มีความหนาเฉลี่ย 0.512 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 34 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 333 มิลลินิวตัน

ตารางที่ ก11 อัตราส่วนถ่านกัมมันต์ 5%

ครั้งที่	ความหนา (mm)	ความต้านทานแรงดันทะเล (kN/m ²)	ความคงทนต่อแรงฉีกขาด (mN)
1	0.492	33	330
2	0.497	33	340
3	0.502	36	350
4	0.505	35	350
5	0.518	37	350
6	0.523	37	350
7	0.53	38	360
8	0.531	40	370
9	0.533	39	390
10	0.547	41	410
ค่าเฉลี่ย	0.519	37	360
R ²	0.972	0.926	0.933

จากตารางที่ ก11 พบว่ากระดาษที่ใส่ถ่านกัมมันต์ มีความหนาเฉลี่ย 0.519 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะเล 37 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 360 มิลลินิวตัน

การทดสอบของสารสะท้อนน้ำ

ตารางที่ ก12 ไม้ใส่สาร Waterproof

ครั้งที่	ความหนา (mm)	ความต้านทานแรงดันทะลุ (kN/m ²)	ความคงทนต่อแรงฉีก ขาด (mN)
1	0.492	33	330
2	0.497	33	340
3	0.502	36	350
4	0.505	35	350
5	0.518	37	350
6	0.523	37	350
7	0.530	38	360
8	0.531	40	370
9	0.533	39	390
10	0.547	41	410
ค่าเฉลี่ย	0.519	37	360
R²	0.972	0.926	0.933

จากตารางที่ ก12 พบว่ากระดาษที่ใส่สารสะท้อนน้ำ มีความหนาเฉลี่ย 0.519 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 37 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 360 มิลลินิวตัน

ตารางที่ ก13 ใ้สาร Waterproof 2 g/l

ครั้งที่	ความหนา (mm)	ความต้านทานแรงดัน ทะลุ (kN/m ²)	ความคงทนต่อแรงฉีกขาด (mN)
1	0.548	42	410
2	0.534	35	360
3	0.542	36	370
4	0.519	36	340
5	0.523	38	350
6	0.543	35	360
7	0.547	36	370
8	0.529	35	350
9	0.544	37	360
10	0.538	42	360
ค่าเฉลี่ย	0.540	37	363
R²	0.939	0.913	0.908

จากตารางที่ ก13 พบว่ากระดาษที่ใ้ถ่านกัมมันต์ มีความหนาเฉลี่ย 0.540 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 37 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 363 มิลลินิวตัน

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของสารสะท้อนน้ำ

ตารางที่ ก14 สมบัติทางกายภาพของกระดาษจากการใส่สารสะท้อนน้ำ

สารสะท้อนน้ำ	ความหนา (mm)		ความต้านทานแรง ดันทะลุ (kN/m ²)		ความคงทนต่อ แรงฉีกขาด (mN)	
	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.
ใส่สารสะท้อนน้ำ 0 g/l	0.52	0.02	36.90	2.73	360	24.04
ใส่สารสะท้อนน้ำ 2 g/l	0.54	0.01	37.20	2.70	363	18.89

จากตารางที่ ก14 พบว่ากระดาษที่ไม่ใส่สารสะท้อนน้ำ มีความหนาเฉลี่ย 0.52 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 36.90 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 360 มิลลินิวตัน กระดาษที่ใส่สารสะท้อนน้ำ มีความหนาเฉลี่ย 0.54 มิลลิเมตร ความต้านทานแรงดันทะลุ 37.20 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ความคงทนต่อแรงฉีกขาด 363 มิลลินิวตัน



ภาพที่ ก1 ผลของการไม่ใส่สารสะท้อนน้ำ

จากภาพที่ ก1 พบว่าผลการดูดซึมน้ำ เมื่อหยดน้ำลงไปมีการดูดซึมน้ำทันที เนื่องจากกระดาษทำมาจากเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำได้ดี จึงทำให้เมื่อหยดน้ำลงไปเกิดการดูดซึมทันที



ภาพที่ ก2 ผลของการใส่สารสะท้อนน้ำ

จากภาพที่ ก2 พบว่าผลการดูดซึมน้ำ เมื่อหยดน้ำลงไป พบว่าไม่มีการดูดซึมน้ำแต่เมื่อทิ้งไว้ประมาณ 5 วันแล้วทำการทดสอบหยดน้ำลงไป จะมีการดูดซึมน้ำ ใช้เวลา 8.61 sec เนื่องจากสารสะท้อนน้ำมีโครงสร้างทางเคมีที่เป็นฟลูออโรคาร์บอน เป็นสารที่มีแรงดึงผิวต่ำ จะเกิดเป็นฟิล์มเคลือบอยู่บนผิวของกระดาษ เมื่อใส่ในขั้นตอนการทำกระดาษ ทำให้เมื่อหยดน้ำลงบนกระดาษ น้ำจะไม่สามารถซึมผ่านไปได้ แต่เมื่อทิ้งไว้ นานสารเกิดการเสื่อมสภาพทำให้น้ำสามารถซึมผ่านไปได้บางส่วน



ภาคผนวก ข มาตรฐานการทดสอบ



Designation: D 3786 – 01

Standard Test Method for Hydraulic Bursting Strength of Textile Fabrics—Diaphragm Bursting Strength Tester Method¹

This standard is issued under the fixed designation D 3786; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method describes the measurement of the resistance of textile fabrics to bursting using the hydraulic diaphragm bursting tester. This test method is generally applicable to a wide variety of textile products.

1.2 This test method may also be applicable for stretch woven and woven industrial fabrics such as inflatable restraints.

1.3 The values stated in S. I. Units are to be regarded as the standard.

NOTE 1—For the measurement of the bursting strength by means of a ball burst mechanism, refer to Test Method D 3787.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D 123 Terminology Relating to Textiles

D 5034 Test Methods for Breaking Load and Elongation of Textile Fabrics

D 1776 Practice for Conditioning Textiles for Testing

D 3787 Test Method for Bursting Strength of Knitted Textiles—Constant-Rate-of-Traverse (CRT) Ball Burst Test

2.2 Other Standard:

TAPPI T 403, OM.91 Bursting Strength of Paper³

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *bursting strength, n*—the distending force, which is applied at right angles to the plane of the fabric, under specified conditions, which will result in the rupture of a textile.

3.1.2 *knitted fabric, n*—a structure produced by interlooping one or more ends of yarn or comparable material.

3.1.3 *nonwoven fabric, n*—a textile structure produced by bonding or interlocking of fibers, or both, accomplished by mechanical, chemical, thermal or solvent means and combinations thereof.

3.1.3.1 *Discussion*—The term does not include paper or fabrics that are woven, knitted or tufted.

3.1.4 *woven fabric, n*—a structure produced when at least two sets of strands are interlaced, usually at right angles to each other according to a predetermined pattern of interlacing, and such that at least one set is parallel to the axis along the lengthwise direction of the fabric.

3.1.5 *stretch woven fabric, n*—a woven fabric which is capable of at least 20 % stretch in either warp or filling direction, or both, under loads and conditions encountered in use and of almost complete recovery on removal of the load.

3.2 For definitions of other textile terms used in this test method, refer to Terminology D 123.

4. Summary of Test Method

4.1 A is clamped over an expandable diaphragm. The diaphragm is expanded by fluid pressure to the point of specimen rupture. The difference between the total pressure required to rupture the specimen and the pressure required to inflate the diaphragm is reported as the bursting strength.

5. Significance and Use

5.1 This method for the determination of diaphragm bursting strength of knitted, nonwoven and woven fabrics is being used by the textile industry for the evaluation of a wide variety of end uses.


5.2 In cases where test results obtained using the procedures in Test Method D 3786 have not been correlated with actual performance, Test Method D 3786 is considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments of textile

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D13 on Textiles and is the direct responsibility of Subcommittee D13.59 on Fabric Test Methods. General.

Current edition approved Dec. 10, 2001. Published March 2002. Originally published as D 3786-79. Last previous edition D 3786-87.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1 Dunwoody Park, Atlanta, GA 30341.


D 3786 – 01

fabrics for bursting strength since the method has been used extensively in the trade for acceptance testing. In cases where disagreement arising from differences in values reported by the purchaser and the supplier when using Test Method D 3786 for acceptance testing, the statistical bias, if any, between the laboratory of the purchaser and the laboratory of the supplier should be determined with comparison based on testing specimens randomly drawn from one sample of material of the type being evaluated.

NOTE 2—The kind of load transfer and stretch that occur when knitted goods and nonwoven fabrics are worn are prevented by clamping them as described in this method.

6. Apparatus and Materials

6.1 *Hydraulic Diaphragm Bursting Tester*⁴—A testing machine that meets the requirements of 6.1.1-6.1.4. In cases of dispute, a motor-driven tester shall be used unless the purchaser and the supplier agree otherwise.

6.1.1 *Clamps*, for firmly and uniformly securing the test specimen between two annular, plane, parallel, and preferably stainless steel surfaces, without slippage during the test. Use sufficient pressure to effect the practicable minimization of slippage.

6.1.1.1 The upper and lower clamping surfaces shall have a circular opening at least 75 mm (3 in.) in diameter and coaxial apertures of 31 ± 0.75 mm (1.22 ± 0.03 in.) in diameter. The surfaces of the clamps between which the specimen is placed shall have concentric grooves spaced not less than 0.8 mm ($\frac{1}{32}$ in.) apart and shall be of a depth not less than 0.015 mm (0.0006 in.) from the edge of the aperture. The surfaces of the clamps shall be metallic and any edge which might cause a cutting action shall be rounded to a radius of not more than 0.4 mm ($\frac{1}{64}$ in.). The lower clamp shall be integral with the chamber in which a screw shall operate to force a liquid pressure medium at a uniform rate of 95 ± 5 mL/min against the rubber diaphragm.

NOTE 3—Since the clamping mechanism and clamping surfaces are subject to considerable wear and distortion, they should be examined periodically and repaired or replaced when necessary. The effectiveness of grooving the clamping surfaces in the manner specified has not been determined.

6.1.2 *Diaphragm*⁴—A 48 mm (1.875 in) diaphragm of molded synthetic rubber, 1.80 ± 0.05 mm (0.070 ± 0.002 in.) in thickness with reinforced center, clamped between the lower clamping plate and the rest of the apparatus so that before the diaphragm is stretched by pressure underneath it the center of its upper surface is below the plane of the clamping surface. The pressure required to raise the free surface of the diaphragm plane shall be 30 ± 5 kPa (4.3 ± 0.8 psi). This pressure shall be checked at least once a month. To test, a bridge gage⁴ may

⁴ The Hydraulic Diaphragm Bursting Testers, hand driven Model LC (Fig. 1A) and motor driven Models C (Fig. 1B) and (Fig. 1C), and accessories, manufactured by B. F. Perkins & Son, Inc., have been found satisfactory. The motor driven Model A (Fig. 1D) has been found to be satisfactory for heavyweight fabrics, but may be unsuitable for some lightweight fabrics. Model C and Model A have different pumping rates and different diaphragms therefore it is not likely these two machines will give the same result. The testers also can be obtained from Testing Machines, Inc., 400 Bayview Ave., Amityville NY

be used, the test being carried out with the clamping ring removed. The diaphragm should be inspected frequently for permanent distortion and renewed as necessary.

6.1.3 *Pressure Gage*—A maximum-reading pressure gage of the Bourdon type of appropriate capacity graduated in pounds and accurate throughout the entire range of its scale to within a value of 1 % of its maximum capacity. The capacity of the gage shall be such that the individual readings will be not less than 25 % nor more than 75 % of the total capacity of the gage.

6.1.4 *Hydraulic Pressure System*—A mean of applying controlled increasing hydrostatic pressure to the underside of the diaphragm until the specimen bursts through a fluid displaced at the rate of 95 ± 5 mL/min. The fluid is displaced by a piston in the pressure chamber of the apparatus. The recommended chamber fluid is USP chemically pure 96 % glycerin. The hydraulic system, including the gages shall be mounted so as to be free of externally induced vibrations. Means shall be provided at the instant of rupture of the specimen for stopping any further application of the loading pressure and for holding unchanged the contents of the pressure chamber until the total bursting pressure and the pressure required to inflate the diaphragm indicated on the gage have been recorded.

NOTE 4—Ethylene glycol may be substituted for the glycerine if desired.

6.1.5 *Aluminum Foil For Calibration of Tester*⁵—Pieces of pretested aluminum sheet having a known bursting strength in the range of 70 to 790 kPa (10 to 115 psi) are use for checking the overall performance of the tester.

7. Sampling


7.1 *Lot Sample*—As a lot sample for acceptance testing, take at random the number of rolls of fabric directed in an applicable material specification or other agreement between the purchaser and the supplier. Consider rolls of fabric to be the primary sampling units.

NOTE 5—An adequate specification or other agreement between the purchaser and the supplier requires taking into account the variability between rolls of fabric and between specimens from a swatch from a roll of fabric to provide a sampling plan with a meaningful producer's risk, consumer's risk, acceptable quality level, and limiting quality level.

7.2 *Laboratory Sample*—As a laboratory sample for acceptance testing, take a full width swatch 1 m (1 yd) long from the end of each roll of fabric in the lot sample, after first discarding a minimum of 1 m (1 yd) of fabric from the very outside of the roll. From each roll or piece of circular knit fabric selected from the lot sample, cut a band at least 305 mm (1 ft) wide.

7.3 *Test Specimens*—Cut ten test specimens from each swatch in the laboratory sample with each specimen being 125 mm (5 in.) square.

⁵ Standardized aluminum sheets for this purpose, bursting over the range from 51 to 150 psi (350 to 1035 kPa) may be obtained from the Pulp and Paper Research Institute of Canada, 3420 University St., Montreal, Canada; from Testing Foil Service, 304 N. Stevens St., Rhinelander, WI 54501; and from Testing Machines, Inc., 400 Bayview Ave., Amityville, NY 11701.

 D 3786 – 01

Larger differences are likely to occur under all other circumstances. The value of the bursting strength of knitted goods can only be defined in terms of a specific test method.

Within this limitation, the procedure for bursting strength in Test Method D 3786 has no known bias. Sections 14.2-14.4 explain the basis for this summary and for evaluations made under other conditions.

14.2 *Interlaboratory Test Data*⁶—An interlaboratory test was run in 1977 in which randomly drawn specimens of six fabrics were tested in each of four to five laboratories. Three fabrics were circular knit fabrics containing spun yarns and three of the fabrics were tricot knit fabrics containing filament yarns. The components of variance for bursting strength results expressed as standard deviations were calculated to be the values reported in Table 1.

NOTE 9—The difference in variability between the two groups of fabrics is thought to be the result of the differences between the source yarns rather than the type of equipment on which the fabrics were knit. There is no objective evidence to substantiate this belief.

NOTE 10—The interlaboratory test data were obtained with motor-driven testers. The precision of the method using a hand-operated tester has not been determined.

⁶ ASTM Research Report No. RR:D13-1061. A copy is available from ASTM Headquarters.

TABLE 1 Components of Variance for Bursting Strength Expressed as Standard Deviations, Percentage Points

	Single-Operator Component	Within-Laboratory Component	Between-Laboratory Component
Spun yarns in circular knit	6.8	1.1	2.5
Filament yarns in tricot knit	2.3	3.1	2.6

14.3 *Critical Differences*—For the components of variance reported in 14.2, two averages of observed values should be considered significantly different at the 95 % probability level if the difference equals or exceeds the critical differences listed in Table 2 (Note 9).

NOTE 11—The tabulated values of the critical differences should be considered to be a general statement particularly with respect to between-laboratory precision. Before a statement can be made about two specific laboratories, the amount of statistical bias, if any, between them must be established, with each comparison being based on recent data obtained on specimens randomly drawn from a sample taken at random from a lot of the material to be evaluated.

14.4 *Bias*—The procedure in Test Method D 3786 has no known bias because the value of bursting is defined in terms of this test method.

15. Keywords

15.1 diaphragm bursting pressure; knitted fabric; non woven fabric

TABLE 2 Critical Differences for Bursting-Pressure for the Conditions Noted, Percentage Points^A


	Number of Observations in Each Average	Single-Operator Precision	Within-Laboratory Precision	Between-Laboratory Precision
Spun yarns in circular knit	5	8.4	9.0	11.3
	10	6.0	6.7	9.6
	20	4.2	5.2	8.7
	40	3.0	4.3	8.1
Filament yarns in tricot knit	5	2.9	9.1	11.6
	10	2.0	8.8	11.4
	20	1.4	8.7	11.3
	40	1.0	8.7	11.3

^AThe critical differences were calculated using $t = 1.645$, which is based on infinite degrees of freedom.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).


D 3786 – 01

8. Calibration

8.1 *Routine Verification of Testing Machine*—Check the operation of the testing machine at least once each month by bursting five specimens of standard aluminum sheet. The average of the indicated bursting resistance for the five specimens of aluminum sheet should be between $\pm 5\%$ of that marked on the package of the pretested aluminum sheet standard.

8.2 *Calibration of Gage*—Calibrate the gage, while inclined at the same angle at which it is used, by means of a dead-weight tester of the piston type, or by means of a column of mercury. Such calibration is preferably carried out with the gage in its normal position in the tester.

8.3 Where agreement is not attained, check the tester according to the instructions given in Tappi Method T-403 OS-74.

NOTE 6—Possible causes of low readings are gage error (bias or nonlinearity), gage expansivity too high, excessive gage pointer friction, air in hydraulic system or gage, diaphragm collapsed too far at zero, and low pumping rate (hand-driven tester). Possible causes of high readings are: gage error (bias nonlinearity), loose gage pointer (overshoot), gage pointer bent by stop-pin, insufficient clamping force (slipping), nonuniform clamping (partial slipping), stiff or inelastic diaphragm, diaphragm above clamping plate at zero, multiple sheet testing, high pumping rate (hand-driven tester), and double bursts. If a gage is accidentally used beyond its capacity, it must be recalibrated before it is used again.

9. Conditioning

9.1 Bring the specimens (or laboratory samples) from the prevailing atmosphere to moisture equilibrium for testing in the standard atmosphere for textile testing as directed in Practice D 1776.

10. Selection and Number of Specimens

10.1 Unless otherwise agreed upon, as when specified in an applicable material specification, take ten specimens of the laboratory sample(s) of fabric. Each specimen shall be at least 125 mm (5 in.) square, or a circle 125 mm (5 in.) in diameter. Specimens need not be cut for testing. No two specimens from knitted fabric should contain the same wale or course yarns. Take no specimens nearer the selvage than one tenth the fabric width. This restriction does not apply to tubular knitted fabric.

11. Procedure

11.1 Make all tests on specimens conditioned in the standard atmosphere for testing textiles as directed in 9.1.

11.2 *Hand Driven Tester:*

11.2.1 Insert the conditioned specimen under the tripod, drawing the specimen taut across the plate, and clamp specimen in place by bringing the clamping lever as far to the right as possible.

NOTE 7—For specimens with considerable stretch, it may be necessary to extend the fabric uniformly over the plate to remove some of the stretch before clamping.

11.2.2 Rotate the hand wheel, clockwise at a uniform speed of 120 rpm until the specimen bursts.

11.2.3 Stop turning the hand wheel at the instant of rupture of the specimen (see Note 8).

11.2.4 Immediately after rupture and in rapid succession, release the clamping lever over the specimen. Immediately release the strain on the diaphragm by turning the wheel counterclockwise to its starting position and record the pressure required to inflate the diaphragm (tare pressure). Record the total pressure required to rupture the specimen.

NOTE 8—If the pressure stops increasing, as indicated by the dial, and the specimen has not broken, push the operating lever to remove the pressure. Record that the stretch of the fabric exceeds the dimensional limitations of the tester. If slippage of the specimen is noted, discard the result and use a new specimen.

11.3 *Motor-Driven Tester:*

11.3.1 Insert the specimen under the tripod, drawing the specimen taut across the plate, and clamp specimen in place by bringing the clamping lever as far to the right as possible (see Note 6).

11.3.2 Inflate the diaphragm by moving the operating handle to the left.

11.3.3 While the diaphragm is inflating, take hold of the latch that is located below, or to the right, of the operating handle. At the instant of rupture of the specimen, swing the latch as far as it will go to bring the operating handle to an idling (neutral) position (see Note 8). Record the total pressure required to rupture the specimen.

11.3.4 Immediately after rupture, and in rapid succession, release the clamping lever over the specimen. Immediately relieve the strain on the diaphragm by dropping the latch back to its normal position, throw the operating handle to the right, and record the pressure required to inflate the diaphragm (tare pressure).

12. Calculation

12.1 Calculate the bursting pressure of each specimen by subtracting the tare pressure required to inflate the diaphragm from the total pressure required to rupture the specimen.

12.2 Report the pressure reading of each individual specimen and the average for each laboratory sampling unit and the lot.

12.3 Report the type of bursting tester used.

13. Report

13.1 State that the specimens were tested as directed in Test Method D 3786 using the Hydraulic Diaphragm Bursting Tester. Describe the material or product sampled and the method of sampling used.

13.2 Report the bursting strength of each individual specimen and their average in kPa (psi).

13.3 Report the type of bursting tester used.

14. Precision and Bias

14.1 *Summary*—In comparing two averages of ten observations each, the difference should not exceed the following critical differences in 95 out of 100 cases when both sets of observations are taken by the same well-trained operator using the same piece of test equipment and specimens randomly drawn from the same sample of material.

Spun yarn in circular knit	41 kPa (6.0 psi)
Filament yarn in tricot knit	14 kPa (2.0 psi)



Designation: D 5734 – 95 (Reapproved 2001)

Standard Test Method for Tearing Strength of Nonwoven Fabrics by Falling-Pendulum (Elmendorf) Apparatus¹

This standard is issued under the fixed designation D 5734; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the measurement of the average force required to propagate a single-rip tear starting from a cut in a nonwoven fabric using a falling-pendulum (Elmendorf) apparatus.

1.2 This standard Elmendorf tear tester with interchangeable pendulums has become the preferred test apparatus for determining tearing strength up to 6400 grams-force. It is recognized that some older test instruments with augmenting weights continue to be used. As a consequence, these older test instruments may be used when agreed upon between the purchaser and the supplier. The conditions for the older units as used with this test method are included in the appendix. For tearing strength above 6400 grams-force, a high-capacity test instrument is available equipped with augmenting weights to increase the capacity.

1.3 This test method is applicable to most nonwoven fabrics that are treated or untreated, including heavily sized, coated, or resin-treated, provided the fabric does not tear in the direction crosswise to the direction of the force applied during the test. If the tear does not occur in the direction of the test, the fabric is considered untearable in that direction by this test method.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The inch-pound units given in parentheses may be approximate.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

D 123 Terminology Relating to Textiles²

D 689 Test Method for Internal Tearing Resistance of Paper³

D 1776 Practice for Conditioning Textiles for Testing²

D 4848 Terminology of Force and Deformation Properties of Textiles⁴

3. Terminology

3.1 *Definitions:*

3.1.1 *length of tear, n*—in tensile testing, the length of fabric torn, as measured on the fabric before tearing.

3.1.2 *lengthwise direction, n*—in textiles, the direction in a machine-made fabric parallel to the direction of movement the fabric followed in the manufacturing machine.

3.1.2.1 *Discussion*—For nonwovens, an easily distinguishable pattern for orientation may not be apparent, especially if removed from the roll. Care should be taken to maintain the directionality by clearly marking the direction.

3.1.3 *nonwoven fabric, n*—a textile structure produced by bonding or interlocking of fibers, or both, accomplished by mechanical, chemical, thermal, or solvent means, or combination thereof.

3.1.4 *tearing energy, n*—in tensile testing of fabrics, the work done in tearing the specimen.

3.1.5 *tearing force, n*—the average force required to continue a tear previously started in a fabric.

3.1.5.1 *Discussion*—For nonwovens, the tearing force is recorded as the maximum force required to continue a tear previously started in a fabric.

3.1.6 *tearing strength, n*—the force required either to start or to continue or propagate a tear in a fabric under specified conditions.

3.1.7 *widthwise direction, n*—in textiles, the direction in a machine-made fabric perpendicular to the direction of movement the fabric followed in the manufacturing machine.

3.1.8 For definitions of other textile terms used in this test method, refer to Terminologies D 123 and D 4848.

4. Summary of Test Method

4.1 The force required to continue a slit previously cut in a nonwoven fabric is determined by measuring the work done in tearing it through a fixed distance. The tester consists of a sector-shaped pendulum carrying a clamp which is in alignment with a fixed clamp when the pendulum is in the raised,


¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D13 on Textiles and is the direct responsibility of Subcommittee D13.90 on Executive.

Current edition approved June 15, 1995. Published September 1995.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 07.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.09.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 07.02.


D 5734 – 95 (2001)

starting position with maximum potential energy. The specimen is fastened in the clamps and the tear is started by cutting a slit in the specimen between the clamps. The pendulum is then released and the specimen is torn as the moving jaw moves away from the fixed one. The scale attached to the pendulum is graduated to read the tearing force of the specimen.

5. Significance and Use

5.1 This test method for the determination of tearing strength by the pendulum method is used in the trade for the acceptance testing of commercial shipments of nonwoven fabrics, but caution is advised since technicians may fail to get good agreement between results on certain fabrics. Comparative tests as directed in 5.1.1 may be needed.

5.1.1 In case of a dispute arising from differences in reported test results when using this test method for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the supplier should conduct comparative test to determine if there is a statistical bias between their laboratories. Statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens that are as homogeneous as possible and that are from a lot of material of the type in question. The test specimens should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using Students *t*-test and an acceptable probability level chosen by the two parties before the testing began. If a bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and the supplier must agree to interpret future test results in the view of the known bias.

5.2 Compared to other methods for testing tearing strength this test method has the advantage of simplicity and speed since specimens are cut with a die and results are read directly from the scale on the pendulum. The specimens are relatively small in area and thus, require less fabric. The reading obtained is directly proportional to the length of the material torn, therefore, it is essential that the specimen be prepared to the exact size specified. For best results, the recommended capacity of the tester selected is the one where the specimens tear between 20 and 80 % of the full-scale value.

5.3 Instrument models are available with pneumatically operated clamps and removable pendulums and are recommended for this test. In addition, microprocessor systems for automatic collection of data can provide economical and reliable results when properly calibrated. In any event, the older units without the deep cut-out in the pendulum that allow specimen contact with the sector are not recommended.

6. Apparatus

6.1 *Falling-Pendulum- (Elmendorf) Type Tester*⁵, as described in Annex A1 and shown in Fig. A1.1. The tester includes: a stationary clamp, a movable clamp carried on a pendulum formed by a sector of a circle that is free to swing on

a bearing, means for leveling, knife mounted on a stationary post for starting a tear, means for holding the pendulum in a raised position, means for instantly releasing the pendulum, and means for registering the maximum arc through which the pendulum swings when released, and a graduated scale mounted on the pendulum.

6.1.1 The tester may have a pointer mounted on the same axis as the pendulum that is used to register the tearing force, or it may be substituted by means of calculating and displaying the required results without the use of a pointer, such as digital display and computer-driven systems. The clamps may preferably be air actuated, but manual clamping is permitted. The pendulum must have a cutout above the clamp that prevents the specimen from coming in contact with the sector during the test.

6.1.2 The standard test instrument should be equipped with an interchangeable pendulum of the required capacity. Interchangeable pendulum models are available in capacities of 1960, 3920, 7840, 15680, 31360, and 62720 mN (200, 400, 800, 1600, 3200, and 6400 gf). The pendulum is equipped with a scale reading directly in percentage of its capacity.

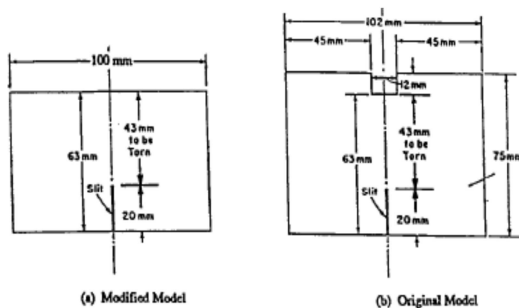
6.1.3 The high-capacity instruments have a 62720-mN (6400-gf) capacity pendulum with available augmenting weights to increase the capacity to 125540, and 250880 mN (12 800 and 25 600 gf). The tester is equipped with scales reading directly in hectograms (100-gf units) for each capacity. See Annex A1.

6.2 *Calibration Weight*, for graduation of 50 % of scale, one required for each capacity pendulum, or,

6.2.1 *Optional, Three-Check-Weight Set*, for 20, 50, and 80 % of scale. Each capacity requires its own set of weights. When required, calibration weights are available from the manufacturer for high-capacity instruments.

NOTE 1—While calibration weights are made with scale values of 20, 50, and 80 % of scale, it is not absolutely necessary to utilize a complete set. It is acceptable to use one calibration weight which is in the range of the expected test results, generally 50 % of the scale in use.


6.3 *Cutting Die*, having essentially the shape and dimensions shown in Fig. 1(a) or 1(b). Either die provides the basic rectangular test specimen 100 ± 2 mm (4 ± 0.05 in.) long by 63 ± 0.15 mm (2.5 ± 0.005 in.) wide. The critical dimension of the test specimen is the distance 43.0 ± 0.15 mm (1.69 ± 0.005 in.) that is to be torn during the test.



NOTE 1—All tolerances ± 0.5 %.

FIG. 1 Example of Die For Cutting Notched Specimens

⁵ Elmendorf Tear Testers suitable for use and meet the requirements of this test method are available from Thwing-Albert Instrument Co., Philadelphia, PA and Testing Machines, Inc., Amityville, NY.

 D 5734 – 95 (2001)

NOTE 2—The modified die model shown in Fig. 1(a) is typically used for nonwoven fabric testing. The original die model shown in Fig. 1(b) was that used in woven fabric testing. Either die may be used. These dies can be made to order by most die manufacturers.

6.4 *Air Pressure Regulator*, capable of controlling air pressure between 410 and 620 kPag (60 and 90 psig), when applicable, for air clamps.

6.5 *Setting Gage*, for cutting blade that will provide a cut slit that leaves a 43 ± 0.15 -mm (1.69 ± 0.005 -in.) specimen tearing distance for a 63 ± 0.15 -mm (2.5 ± 0.005 -in.) wide specimen, or equivalent.

6.6 *Jaw Spacing Gage*, 2.8 ± 0.3 -mm (0.125 ± 0.012 -in.) width, or equivalent.

6.7 *Oil*, lightweight, non-gumming clock type.

6.8 *Silicone Grease*, when applicable, for air clamp lubrication.

6.9 *Vacuum Cleaner*, when applicable, for cleaning dust and fiber from pendulum scale sensor, or equivalent.

7. Sampling and Test Specimens

7.1 *Lot Sample*—As a lot sample for acceptance testing, take at random the number of rolls, or pieces, of nonwoven fabric directed in an applicable material specification or other agreement between the purchaser and the supplier. Consider the rolls, or pieces, of nonwoven fabric to be the primary sampling units. In the absence of such an agreement, take the number of nonwoven fabric rolls specified in Table 1.

NOTE 3—An adequate specification or other agreement between the purchaser and the supplier requires taking into account the variability between rolls or pieces of fabric and between specimens from a swatch from a roll or pieces of fabric to provide a sampling plan with a meaningful producer's risk, consumer's risk, acceptable quality level, and limiting quality level.

7.2 *Laboratory Sample*—For the laboratory sample, take a swatch extending the width of the fabric and approximately 1 m (1 yd) along the lengthwise direction from each roll, or piece, in the lot sample. For rolls of fabric, take a sample that will exclude fabric from the outer wrap of the roll or the inner wrap around the core.

7.3 *Test Specimens*—From each laboratory sampling unit, take five specimens from the lengthwise direction and five specimens from the widthwise direction, for each test condition described in 8.1-8.3 as applicable to a material specification or contract order. Use the cutting die described in 6.3 and shown in Fig. 1(a) and 1(b).

7.3.1 *Direction of Test*—Consider the short direction as the direction of the test.

7.3.2 *Cutting Test Specimens*—Cut the specimens for the measurement of the lengthwise direction from different positions across the fabric width with the shorter dimension parallel

to the lengthwise direction. Cut the specimens for the measurement of the widthwise direction from different positions along the length of the fabric with the shorter dimension parallel to the widthwise direction. When specimens are to be tested wet, cut from areas adjacent to the dry test specimens. Label to maintain specimen identity.

7.3.2.1 Cut specimens representing a broad distribution across the width of the laboratory sample and no nearer the edge than one tenth its width. Ensure specimens are free of folds, creases, or wrinkles. Avoid getting oil, water, grease, and so forth, on the specimens when handling.

8. Preparation of Apparatus and Calibration

8.1 For the standard test instrument, select the pendulum such that the tear occurs between 20 and 80 % of the full-scale range. Secure the pendulum to the instrument, spacing the clamps as directed in A2.4.

8.1.1 For the high-capacity test instrument, when required, select the augmenting weight such that the tear occurs between 20 and 80 % of the full-scale range. Secure the augmenting weight to the pendulum.

8.2 When equipped with a registering sensor, examine the scale and the complementary black sensor strip along the bottom edge of the pendulum. Using care and without touching the sensor, vacuum away any loose fibers and dust.

8.3 Examine the knife edge for sharpness, wear, and central alignment as directed in A2.5-A2.7.

8.4 For air clamps, set the air pressure to the clamps to about 550 kPag (80 psig).

8.4.1 Maximum pressure should be no more than 620 kPag (90 psig) and minimum pressure no less than 410 kPag (60 psig).

8.5 When using microprocessor automatic data gathering systems, set the appropriate parameters as defined in the manufacturer's instructions.

8.6 Verify the calibration of the selected capacity pendulum scale using the one check weight method described in A3.2, unless otherwise specified.

8.6.1 The scale may be verified either by the relatively simple procedure which uses one Elmendorf check weight, or alternatively by the three-check-weight procedure, or the potential energy procedure. The same accuracy and effectiveness are claimed for each procedure. The one- and three-check-weight sets are available from the manufacturer. The single-weight procedure described in this section has been recommended for use to 80 % of scale. See Annex A3.

9. Conditioning


9.1 *Condition 1, Unspecified Testing Conditioning*—No conditioning is required unless otherwise specified in a material specification or contract order.

9.2 *Condition 2, Standard Testing Conditioning:*

9.2.1 When specified, precondition the specimens by bringing them to approximate moisture equilibrium in the standard atmosphere for preconditioning textiles as directed in Practice D 1776.

TABLE 1 Number of Rolls or Pieces, of Nonwoven Fabric in the Lot Sample

Number of Rolls, Pieces in Lot, Inclusive	Number of Rolls or Pieces in Lot, Sample
1 to 3	all
4 to 24	4
25 to 50	5
over 50	10 % to a maximum of ten rolls or pieces

 D 5734 – 95 (2001)

9.2.2 After preconditioning, bring the test specimens to moisture equilibrium for testing in the standard atmosphere for testing textiles as directed in Practice D 1776 or, if applicable, in the specified atmosphere in which the testing is to be performed.

9.3 Condition 3, Wet Specimen Testing Conditioning:

9.3.1 Place the specimens in a container and submerge in distilled or deionized water at ambient temperature until thoroughly soaked. (See 9.3.1.1.)

9.3.1.1 The time of immersion must be sufficient to wet out the specimens, as indicated by no significant change in tearing force followed by longer periods of immersion. For most fabrics this time period will be about one hour. For fabrics not readily wet out with water, such as those treated with water-repellent or water resistant materials, add a 0.01 % solution of a nonionic wetting agent to the water bath.

10. Procedure

10.1 Test the specimens in the atmosphere as directed in an applicable material specification or contract order.

10.2 Raise the pendulum to the starting position and set the pointer against its stop.

10.3 For Tester-Slit Specimens:

10.3.1 Place the long sides of the specimen centrally in the clamps with the bottom edge carefully set against the stops and the upper edge parallel to the top of the clamps. Close the clamps, securing the specimen with approximately the same tension on both clamps. The specimen should lie free with its upper area directed toward the pendulum to ensure a shearing action.

10.3.2 Push down on the handle of the built-in knife blade cutting a 20 ± 0.15 -mm (0.787 ± 0.006 -in.) slit in the specimen using the pendulum knife extending from the bottom edge and leaving a balance of fabric 43.0 ± 0.15 mm (1.69 ± 0.005 in.) remaining to be torn.

10.4 For Die-Cut or Manually Slit Specimens:

10.4.1 If a die without a slit is used, manually cut a 20 ± 0.15 -mm (0.787 ± 0.006 -in.) long slit in the center of one edge of the long direction of the specimen. Ensure that the balance of the fabric remaining to be torn is 43 ± 0.15 mm (1.69 ± 0.005 in.). The length of the cut is important when tearing energy is determined.

10.4.2 Place the parallel, unslit sides of the specimen in the clamps with the bottom edge carefully set against the stops, the upper edge parallel to the top of the clamp and the slit centrally located between the clamps. Close the clamps, securing the specimen with approximately the same tension on both clamps. The specimen should lie free with its upper area directed toward the pendulum to ensure a shearing action.

10.5 For wet specimens, remove the specimens from the water and immediately mount it on the testing machine in the normal set up. Perform the test within two minutes after removal of the specimen from the water.

10.6 Depress the pendulum stop downward to its limit and hold it until the tear is completed and the pendulum has completed its forward swing. Catch the pendulum by hand just after the threshold of its backward swing and return to its locked starting position for additional test. When equipped, be careful not to disturb the position of the pointer.

10.6.1 The decision to discard the results of a tear shall be based on observation of the specimen during a test and upon the inherent variability of the material. In the absence of other criteria, such as in a material specification, if an unusual cause is detected, the value may be discarded and another specimen tested.

10.6.2 Reject readings obtained where the specimen slips in the jaw or where the tear deviates more than 6 mm (0.25 in.) away from the projection of the original slit. Note when puckering occurs during test.

10.6.3 For microprocessor systems, follow the manufacturer's directions for removing values from memory when the decision to discard a tear value has been made, otherwise for some test instruments, manual calculation of the average is required.

10.6.4 If, during application of the tearing force to the specimen, the force does not reach 20 % or reaches over 80 % of full-scale range, change to the next lower or higher full-scale range, as applicable. See 8.6.

10.6.5 Record if the tear was crosswise to the normal (parallel) direction of tear and describe that specimen, or that sample, as applicable, as untearable.

10.7 Remove the torn specimen and continue until five tears have been recorded for each principal direction, as required, from each laboratory sampling unit.

10.8 When all samples have been tested and calculations completed, place the pendulum in the rest position (free hanging).

11. Calculation

11.1 Tearing Force, Individual Specimens:

11.1.1 *Standard Test Instrument*—Determine the Elmendorf tearing force for individual specimens to the nearest millinewton (gram-force) using Eq 1:

$$F = R \times C/100 \quad (1)$$

where:

F = tearing force, mN (gf),
 R = scale reading, and
 C = full-scale capacity, mN (gf).

11.1.2 *High-Capacity Test Instrument*—Determine the Elmendorf tearing force for individual specimens to the nearest mN (gf) using Eq 2:

$$F = R \times 1000 \quad (2)$$

where:


F = tearing force, mN (gf), and
 R = scale reading, mN (gf).

NOTE 4—mN = gf/9.81.

11.2 *Tearing Strength*—Calculate Elmendorf tearing strength as the average tearing force for each principal direction of the laboratory sampling unit and for the lot.

11.3 *Standard Deviation and Coefficient of Variation*—Calculate when required.

11.4 *Computer Processed Data*—When data is automatically computer processed, calculations are generally contained in the associated software. Record values as read from the direct reading scale to the nearest millinewton (gram-force). In


D 5734 – 95 (2001)

any event, it is recommended that computer processed data be verified against known values and its software described in the report.

12. Report

12.1 Report that the Elmendorf tearing strength was determined as directed in this test method. Describe the material or product sampled and the method of sampling used.

12.2 Report the following information for both the laboratory sampling unit and the lot as applicable to a material specification or contract order:

12.2.1 Elmendorf tearing strength for each principal direction, as requested,

12.2.2 Condition of test, ambient air, or wet,

12.2.3 Puckering, if it occurs during the test,

12.2.4 Number of tests rejected because of crosswise tearing,

12.2.5 Any specimens or samples that were untearable (crosswise tears),

12.2.6 When calculated, the standard deviation or the coefficient of variation,

12.2.7 For computer-processed data, identify the program (software) used,

12.2.8 Make, model, and capacity of testing machine,

12.2.9 Type of clamps used,

12.2.10 Test room conditioning, and

12.2.11 Any modification of the test method.

13. Precision and Bias

13.1 *Summary*—Preliminary interlaboratory test data have shown that the variance in tear strength testing by this test method is dependent upon the manufacturing method of the material under evaluation; therefore, no general statement can be made concerning least critical differences. The following data were generated during the interlaboratory test and are presented for reference. In comparing two averages of five observations, the difference between averages should not exceed the following values in 95 out of 100 cases when all the observations are taken by the same well-trained operator using the same piece of equipment and specimens are randomly drawn from the same sample:

Manufacturing Method	Tearing Force (gf) Difference
<i>Machine Direction</i>	
Dry Laid	45
Resin Bonded	35
Thermal	54
Wet Laid	37
<i>Transverse Direction</i>	
Dry Laid	54
Resin Bonded	46
Thermal	33
Wet Laid	35

Larger differences are likely to occur under all other circumstances. This procedure for determining tearing force has no other known bias and is considered a referee method.

13.2 *Interlaboratory Test Data*—A preliminary interlaboratory test was run in 1992 in which randomly drawn samples of four materials were tested in each of three laboratories. Two operators in each laboratory tested five specimens of each material. The four materials used in this evaluation were all manufactured by different processes as shown in 13.1. Analysis of the data using the adjunct to Practice D 2904 suggested reporting the components of variance and least critical differences based upon the method of manufacturing. The components of variance, expressed as standard deviations, for each method of manufacturing are listed in Table 2 (see Note 5). Further testing is in progress to elucidate the dependence on manufacturing process and possible test method revision.

13.3 *Precision*—For the components of variance listed in Table 2, the averages of two observed values should be considered significantly different at the 95 % probability level if the difference equals or exceeds the critical differences listed in Table 3 (see Note 6). Due to the dependence of the components of variance on the manufacturing process no meaningful statement can be made at this time relative to between material comparisons.

13.4 *Bias*—The procedure in this test method for determining the tearing strength of nonwoven fabrics by this test method has not been checked against accepted reference materials but contains no known bias other than the effect of the manufacturing process, as noted. This test method is accepted as a referee method.

Note 5—The square roots of the components of variance are listed in Table 2 so that the variability is expressed in the appropriate units of measure rather than as the square of those units of measure.

Note 6—The values of the tabulated differences should be considered to be a general statement, particularly with respect to between-laboratory precision. Before a meaningful statement can be made about two specific laboratories, the amount of statistical bias, if any, between them must be established with each comparison being based on recent data obtained on specimens taken from a lot of material of the type being evaluated so as to be as homogeneous as possible, and then randomly assigned in equal numbers to each of the laboratories.

14. Keywords

14.1 Elmendorf; falling pendulum; nonwoven fabric; tearing strength; tear tester

TABLE 2 Components of Variance as Standard Deviations

Note 1—Tearing force expressed in grams-force.

Manufacturing Process	Single- Operator Component	Within- Laboratory Component	Between- Laboratory Component
<i>Machine Direction</i>			
Dry Laid	36	36	44
Resin Bonded	28	38	17
Thermal	44	56	0
Wet Laid	30	0	41
<i>Transverse Direction</i>			
Dry Laid	44	0	47
Resin Bonded	37	52	53
Thermal	27	0	16
Wet Laid	28	14	27


 D 5734 – 95 (2001)

TABLE 3 Critical Differences for Conditions Noted
95 % Probability Level

NOTE 1—Tearing strength expressed in grams-force.

Manufacturing Process	Observations in Each Average	Single- Operator Precision	Within- Laboratory Precision	Between- Laboratory Precision
<i>Machine Direction</i>				
Dry Laid	5	45	45	130
	10	32	32	126
Resin Bonded	5	35	111	121
	10	25	108	118
Thermal	5	54	165	165
	10	38	161	161
Wet Laid	5	37	37	119
	10	26	26	116
<i>Transverse Direction</i>				
Dry Laid	5	54	54	141
	10	38	38	135
Resin Bonded	5	46	153	212
	10	33	149	209
Thermal	5	33	33	54
	10	23	23	49
Wet Laid	5	35	53	92
	10	25	46	88

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. DESCRIPTION OF APPARATUS

A1.1 The Elmendorf tear tester providing means for holding the specimen with two clamps, one stationary and one movable, and for tearing it by the fall of the pendulum due to the force of gravity. The textile model, is basically the standard Elmendorf tester and is used with interchangeable pendulums to provide the required capacity. The instrument includes the following parts (Fig. 1(b)).

A1.1.1 The high-capacity Elmendorf tester is a basic 62720-mN (6400-gf) capacity instrument. This capacity can be increased to 125 540 and 250 880-mN (12 800 and 25 600- gf) capacities with the use of augmenting weights available from the manufacturer. It is not equipped with interchangeable pendulums.

A1.1.2 Optionally, test instruments are equipped with a means of calculating and displaying the required results without the use of an autographic recorder, such as computer-driven systems. Also, they may be equipped with air-actuated clamps.

A1.1.3 *Sector-Shaped Pendulum*, carrying a circumferential scale graduated to read the tearing force directly in percent of full-scale capacity for standard test instruments, and in 1000-g units for the high-capacity instruments. The pendulum section has a cutout in the region adjacent to the clamp so that the specimen does not rub against the sector during the test.

A1.1.4 Means for holding the pendulum in a raised position, and means for releasing it instantaneously.

A1.1.5 *Pointer and Pointer-Stop*, for registering the maximum arc through which the pendulum swings when released. The pointer is mounted on the same axis as the pendulum with

constant friction just sufficient to stop the pointer at the highest point reached by the swing of the section. The adjustable pointer stop provides means for setting the zero of the instrument.

A1.1.5.1 When equipped with electronic data gathering systems, the pointer and pointer-stop are not required.

A1.1.6 *Knife*, mounted on a stationary post for initial slitting of the specimen. It is centered between the clamps and adjusted in height to give a tearing distance of 43.0 ± 0.15 mm (1.69 ± 0.005 in.); that is, the distance between the end of the slit made by the knife and the upper edge of the specimen is 43.0 ± 0.15 mm (1.69 ± 0.005 in.) when the lower edge of the 63.0-mm (2.5 ± 0.005 -in.) wide specimen rests against the bottom of the clamp.


A1.1.7 *Leveling Screw*.

A1.1.8 *Stationary Clamp*.

A1.1.9 *Movable Clamp*, carried on a pendulum formed by a sector of a circle free to swing on a ball-bearing.

A1.1.10 With the pendulum in its initial position ready for a test, the two clamps are separated by a distance of 2.8 ± 0.3 mm (0.10 ± 0.01 in.), and are aligned such that the clamped specimen lies in a plane parallel to the axis of the pendulum, the plane making an angle of 0.480 ± 0.009 rad ($27.5 \pm 0.5^\circ$) with the perpendicular line joining the axis and the horizontal line formed by the top edges of the clamping jaws. The distance between the axis and the top edges of the clamping jaws is 103 ± 0.1 mm (4.055 ± 0.004 in.).

A1.1.11 The clamping surface in each jaw is at least 25 mm (1.0 in.) wide and 15.9 ± 0.1 mm (0.625 ± 0.004 in.) deep.

 D 5734 – 95 (2001)

A2. ADJUSTMENT OF APPARATUS

A2.1 *Instrument Mounting*—Place the tester on a sturdy, level bench (or table). Ensure that there is no perceptible movement of the tester base or bench during the swing of the pendulum. Movement of the instrument during the swinging of the pendulum is a significant source of error.

A2.1.1 Threaded bolt holes are usually provided in the base of the instrument and may be used to secure the instrument to the table. An alternative procedure is to place the instrument on a guide that ensures that the instrument always has the same position on the table. A floor-strip is available from some manufacturers for this purpose.

A2.2 *Instrument Balance*—Level the instrument such, that with the sector free, the line on the sector indicating that vertical from the point of suspension is bisected by the edge of the pendulum stop mechanism. Verify this by holding down the pendulum stop and allowing the pendulum to swing free. When the pendulum comes to rest, the positioning line at the center of the pendulum should be directly above the edge of the pendulum stop. Align, if necessary, by turning the leveling thumb screw at the left end of the tester base.

A2.3 *Clamp Alignment*—Raise the pendulum and position the lower edge against its stop. Visually check the alignment of the clamps. If the clamps are not in alignment, replace the pendulum stop or the pendulum bearing and shaft assembly, or both, following the manufacturer's instructions.

A2.4 *Clamp Space Setting, Interchangeable Pendulums*—Set the jaw spacing to 2.8 ± 0.3 mm (0.125 ± 0.012 in.). Loosen the shoulder head screw on top of the pendulum support. With both clamps in the open position, gently pull the pendulum out until the jaw spacer gage will fit into the grips. Gently push the pendulum in until the jaw spacer gage has just enough clearance to slide out the top of the clamps. With the jaw spacer in place, tighten the shoulder head screw on the pendulum support. Remove the jaw spacer gage.

A2.5 *Knife Sharpness*—Check the sharpness of the knife by inserting a spare specimen in the clamps and cutting a slit with the knife blade in the normal manner. If the knife is dull it will produce a V-notch near the top of the cut and push the material outward. When the knife is determined to be dull, sharpen it with a rough stone, alternately, continuing specimen knife cuts, until no V-notch is observed. Replace the knife blade as necessary.

A2.6 *Knife Alignment*—Check that the knife position is centrally located between the clamps. If the knife cannot be positioned centrally, replace one or any combination thereof: the pendulum bearing and shaft assembly, the cutter handle bearing pin, knife blade.

A2.7 *Specimen Tearing Distance*—Check the specimen tearing distance with the knife setting gage. Place the gage in the stationary specimen clamp in the usual manner for testing material. Ensure the gage is positioned with the wide dimen-

sion upwards and the projection extending over the edge of the stationary clamp far enough such that the knife can be adjusted to the bottom edge of the gage. Adjust the knife position such that the highest point of the blade just touches the bottom edge of the gage and then secure it in place. Replace the knife when it no longer can be adjusted to the gage. Or optionally:

A2.7.1 Check the tearing distance by using the die to cut a specimen from coordinate paper graduated in millimetres. Apply a small amount of graphite (from an ordinary lead pencil) to the cutting knife or the edge of the die used for cutting the slit so that when the cut is made some of the graphite transfers to the paper; this serves to contrast the cut from the uncut portion of the paper and facilitates the measurement. Make sure this measurement either with a precision steel rule graduated in 0.2 mm (0.01 in.) or better and under magnification, or alternatively, by use of a go-no-go gage available from the manufacturer of the instrument. If necessary, adjust the height of the knife.

A2.7.2 Do not change the specimen dimensions to adjust the tear distance.


A2.8 *Main Bearing Friction*—Clean, oil, and adjust the bearing. Raise the pendulum to its cocked position. When equipped, set the pointer against its stop. Press and hold down the pendulum stop and let the pendulum swing freely. Ensure the pendulum is free swinging and the calibration can be verified as directed in [Annex A3](#).

A2.9 *Scale Inspection*—When soiled, or calibration cannot be attained, clean the white area at the bottom of the pendulum with mild soap and water. Ensure the mirrored divisions of the scale are clean and free of any foreign matter. Ensure the black sensing strip on the pendulum is clean of fibers and not scratched. Blow off fibers and dust from the black strip using a low-pressure air nozzle. When scratches are evident, touch up with flat black paint enamel.

A2.10 *Pendulum Stop Release*—When a jerky release is observed, check the pendulum or the pendulum stop release for any wear. Adjust the height of the pendulum stop until a smooth release is obtained. If a smooth release cannot be obtained by this adjustment, the pendulum or the pendulum stop may require repair or replacement. If the pendulum stop height is changed, verify clamp alignment and zero position.

A2.11 *Zero Pointer Stop*—Operate the leveled instrument several times with nothing in the clamps, the movable clamp being closed. If zero is not registered, adjust the pointer stop until the zero reading is obtained. Do not change the level to adjust the zero.

A2.12 *Pointer Friction*—Set the pointer at the zero reading on the scale before releasing the sector, and after the release, ensure that the pointer is not pushed more than 3 scale divisions (4 mm or 0.08 in.) or less than two scale divisions (2.5 mm or 1 in.) beyond the zero. If the pointer friction does


D 5734 – 95 (2001)

not lie between two and three divisions, remove the pointer, wipe the bearing clean, and apply a trace of clock oil to the groove of the bearing. Reassemble and check pointer friction. Recheck zero and readjust the pointer stop if necessary.

A2.13 *Oil and Grease*—Apply a very small amount of

clock oil in the groove of the bearing and sleeve assembly. DO NOT oil the flat surfaces of the bearing and sleeve assembly. Apply a small amount of silicone grease to the air clamp plunger rods.

A3. VERIFICATION OF SCALE

NOTE A3.1—Historically, four different check weight systems have been offered by manufacturers and used to verify calibration depending upon the date of manufacture. Early machines consisted of five check weights for scale values of 20, 35, 55, 75, and 90 %. (No longer available from the manufacturer.) Following this, machines were manufactured that utilized three check weights for scale values of 20, 50, and 80 %. Current machines utilize one check weight for a scale value of 50 %. In addition the potential energy method has been used. Use of the 50 % check weight and a working range from 20 to 80 % of full scale is recommended.

A3.1 Verify the scale reading of the test instrument in accordance with A3.2.

A3.1.1 For other methods of verification of the scale reading refer to one of the procedures described in the appendix.

A3.2 *One-Check-Weight Procedure*—Use a one check weight calibrated for a value of 50 % of the Elmendorf tester scale. Each capacity scale requires its own check weight. For example, at 800 g of the 1600-g scale. The check weight shall be constructed such that each weight can be inserted in the clamps by the procedure used for a fabric specimen and having the bulk of the check weight mass facing downward. The useable portion of the scale is 20 to 80 %.

A3.2.1 Position the pendulum in its cocked position against the stop and set the digital readout, or pointer, to zero.

A3.2.2 Depress the pendulum stop downward to its limit and hold it until the pendulum has completed its forward swing. Catch the pendulum by hand just after the threshold of its backward swing and return it to its locked starting position. The pointer, or when equipped, the digital readout should read 0.00. In any event, do not change the level of the instrument to adjust the zero. (See A3.2.6-A3.2.8 as applicable, if adjustment is required.)

A3.2.2.1 For the pointer system, the pointer should not be pushed less than 2.5 mm nor more than 4.0 mm beyond zero. If zero is not registered, the pointer stop should be adjusted until the zero reading is obtained, otherwise service in accordance with Annex A2.

A3.2.3 With the pendulum in the raised position, open the clamp of the pendulum, slide the 50 % check weight, with the bulk of the mass downward, into position, and fasten it securely in the clamp.

A3.2.4 Depress the pendulum stop downward to its limit and hold it until the pendulum has completed its forward swing. Catch the pendulum by hand just after the threshold of its backward swing and return to its locked starting position. The pointer or, when equipped, the digital readout should read 50 ± 0.5 %. (See A3.2.7 or A3.2.8 as applicable, if adjustment is required.)

A3.2.5 Remove the 50 % calibration weight and close the clamp, and when equipped, set the pointer to zero.

A3.2.6 For the pointer system, if zero (0.00) and 50 % readings are not obtained, clean and oil the bearing and sleeve assembly in accordance with A2.12 and A2.13.

A3.2.7 For digital readout systems, if zero (0.00) and 50 % readings are not obtained, loosen the thumb screw securing the photo sensor to the base and move the whole assembly “Right” to increase reading, or “Left” to decrease reading, as required. Continue in accordance with A3.2.1-A3.2.5, alternately making small adjustments of the photo sensor until the target values of 00.0 and 50 % are obtained.

A3.2.8 If zero (0.00) and 50 % readings cannot be obtained, conduct complete maintenance in accordance with Annex A2 until designated readings are obtained and calibration is verified.

A4. INSTRUMENT FACTORS FOR CALCULATION AND TESTING RANGE

A4.1 For instruments with scales calibrated in percent, use the factors given in Table A4.1 for calculating the tearing force in grams-force. These factors take into account the capacity of the tester.

A4.1.1 The acceptable testing range of between 20 and 80 % of the scale value is shown for the direct-reading scale in Table A4.1.

D 5734 – 95 (2001)
APPENDICES**(Nonmandatory Information)****X1. USE OF OLDER STANDARD ELMENDORF TESTERS**

X1.1 The oldest standard model that did not have a deep cutout in the pendulum allowed the specimen to come in contact with the sector during the test. Consequently, significantly higher values may be obtained than those obtained with the newer models having a deep pendulum cutout. Also, these older models had different clamp designs which contributed to variations in results. These models are not recommended.

X1.1.1 A second generation standard test instrument provided a deep cutout in the pendulum. This unit like the older unit consisted of a basic 1600-gf capacity. The capacity could

be increased to 3200-gf capacity with a NIST augmenting weight, and further to 6400-gf capacity with a textile augmenting weight. These test units and augmenting weights are no longer available from the manufacturer. These instruments may be used when agreed upon between the purchaser and the supplier.

X1.1.2 Differences between older and newer models coupled with differences in testing practices frequently resulted in differences between operators and laboratories.

X2. OTHER VERIFICATION OF SCALE PROCEDURES

X2.1 Historically, three different calibration practices other than the one-check-weight procedure described in A3.2 have been used. They are as follows:

X2.1.1 *Three-Check-Weight Procedure*—Use a set of three check weights calibrated for three values, 20, 50, and 80 % of the Elmendorf Tester scale. Each capacity scale requires its own set of check weights. For example, at 320, 800, and 1280 of the 1600-gf scale. Each check weight shall be constructed such that each weight can be inserted in the clamps by the procedure used for a fabric specimen having the major portion of the mass of the check weight facing downward. Generally, the usable portion of the scale is 20 to 80 %.

X2.1.1.1 Repeat the procedure described in A3.2 using each of the check weights for the designated percentage of scale.

X2.1.2 *Five-Check-Weight Method*—Use a set of five check weights calibrated for five values, 20, 35, 55, 75, and 90 % of the Elmendorf tester scale. Each capacity scale requires its own set of check weights. For example, at 320, 560, 880, 1200, and 1440 of the 1600-gf scale. Each check weight shall be constructed such that each weight can be inserted in the clamps by the procedure used for a fabric specimen having the major portion of the mass of the check weight facing upward. Generally the usable portion of the scale is 90 %. These check weights are no longer available from the manufacturer.

X2.1.2.1 Repeat the procedure described in A3.2 using each of the check weights for the designated percentage of the scale.

X2.1.3 *Potential Energy Procedure*—Use a weight of known mass (including its attachment) W and with its previously determined center of gravity (including the means of attachment) marked by a punched dot on the side that is to face the front of the tester. Clamp the weight to the radial edge of

the sector beneath the jaws with the punched dot showing. Close the jaws of the clamp to the sector.

X2.1.3.1 Raise and set the sector as for tearing a specimen and, by means of a surface gage or cathetometer, measure to the nearest 0.1 mm, the height, H , of the center of gravity of the weight above a fixed horizontal surface. Then release the sector, allow it to swing, and note the pointer reading. Without touching the pointer, raise the sector until the edge of the pointer meets with its stop, in which position again determine the height, H , of the center of gravity of the weight above the fixed surface.


X2.1.3.2 For equipment with microprocessor systems for recording results, the pointer will need to be in place on the bearing assembly to perform the potential energy procedure of scale verification.

X2.1.3.3 The work done is $W(h - H)$ gf/mm. For the standard 1600-gf tester, the pointer reading should be $KW(h - H)$, where K is 1/86 mm (that is one divided by twice the distance torn). For other testers graduated for grams-force of greater or lesser capacity, the reading will be factors of two greater or smaller, respectively.

NOTE X2.1—The value of K for Test Method D 689, (1376 mm) differs from the value of K for this test method (86 mm) since it is based on tearing 16 sheets of paper, and therefore, the distance torn is 16 times greater.

X2.1.3.4 One or more weights may be clamped on the edge of the sector for each calibration point, the work done in raising each weight is calculated and added together.

X2.1.3.5 If the deviations of the indicated readings are greater than one-half division, the instrument should be returned to the manufacturer for repair and adjustment.

 **D 5734 – 95 (2001)**

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).